Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Untersuchungen über die Gasbewegung in der Pflanze

von

J. Wiesner und **H. Molisch.**

Ausgeführt im pflanzenphysiologischen Institute der k. k. Wiener Universität.

Die Kenntniss der Flüssigkeits- und Gasbewegung in der lebenden Pflanze gehört bekanntlich zu den wichtigsten Erfordernissen der Pflanzenphysiologie. Schon frühzeitig wurde die hohe Bedeutung dieser Phänomene für das Leben der Gewächse erkannt, denn bereits im Beginne der pflanzenphysiologischen Forschung traten die einschlägigen Fragen in den Vordergrund, wie die epochemachenden Arbeiten von Hales lehren, und seit jener Zeit stand die Untersuchung auf diesem Gebiete niemals vollkommen stille, wenngleich in den verschiedenen Zeitläufen die betreffenden experimentellen Prüfungen mit sehr wechselndem Glücke ihr Ziel verfolgten.

Während in den letzten Decennien die Frage über das Wesen der Saftleitung in der lebenden Pflanze zu sehr bedeutungsvollen Ergebnissen führte und vor allem die durch lange Zeit herrschende Lehre von der Imbibitionsbewegung des Wassers im Holzkörper einer naturgemässeren Auffassung der wahren Sachlage weichen musste, ist in dem genannten Zeitraume die Kenntniss der Gasbewegung durch den Pflanzenkörper nicht gefördert worden. Abgesehen von einigen hierhergehörigen Auffindungen, welche indess in physiologischer Beziehung von geringem Belange sind, erschienen nur Arbeiten, welche, wie die folgenden Blätter zeigen werden, unsere Auffassungen eher trübten als förderten.

Dieser Umstand hat uns bewogen, die Untersuchungen über die Gasbewegung in der Pflanze, welche einer von uns[1] vor län-

[1] Wiesner, Versuche über den Ausgleich des Gasdruckes in den Geweben der Pflanzen. Sitzgsber. der kais. Akad. d. Wissensch. Bd. 79, (1879) I. Abth., S. 368 ff. In der Folge kurz citirt unter dem Zeichen WI.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

gerer Zeit ausführte, wieder aufzunehmen und mit vollkommeneren Mitteln, als selbe damals dem Verfasser zu Gebote standen, an die Lösung der wichtigsten hierhergehörigen Fragen heranzutreten.

Es sind hauptsächlich zwei Fragen, deren Beantwortung wir uns zur Aufgabe stellten. Erstens: Lassen sich mittels Druck Gase durch die vegetabilischen Membrane überhaupt filtriren, und wenn diese Frage zu bejahen ist: unter welchen Verhältnissen und durch welche Arten von Zellhäuten gehen Gase unter Druck durch die letzteren durch? Zweitens: In welchem Masse lassen die verschiedenen Zellmembranen die verschiedenen Luftarten auf dem Wege der Gasdialyse passiren?

Über die erstere Frage lauten die Meinungen sehr verschieden. Die einen behaupten, dass wohl alle vegetabilischen Membranen die Eigenschaft besitzen, unter Druck, also rein mechanisch, Gase durchtreten zu lassen. Die anderen meinen, dass diese Fähigkeit nur gewissen Zellhäuten (Parenchym, Holzgewebe etc.) zukomme, während das Periderm die Druckfiltration gar nicht zulassen soll. Diese Ansicht kann heute wohl als die herrschende bezeichnet werden. Von der einen Seite werden die trockenen Membranen gegenüber den mit Wasser imbibirten als durchlässiger bezeichnet, während von der anderen Seite die Behauptung aufgestellt wird, dass die Luft durch imbibirte Membranen leichter als durch trockene gepresst werden könne.

Was den zweiten Gegenstand anlangt, so sind, wie die nachfolgenden historischen Auseinandersetzungen lehren werden, die einschlägigen Beobachtungen ungenau, ja zum grössten Theile geradezu unrichtig oder wurden gänzlich falsch interpretirt. Wir haben versucht auf Grund möglichst einwurfsfreier Versuche den bei der Gasdialyse stattfindenden Grad der Durchlässigkeit der Zellmembranen für Gase verschiedener Art zu prüfen, wobei wir selbstverständlich hauptsächlich auf jene Luftarten Rücksicht nahmen, welche, wie Kohlensäure und Sauerstoff, das grösste physiologische Interesse beanspruchen. Dass wir auch mit Wasserstoff oder Leuchtgas operirten, wenn es sich um Gase handelt, welche bezüglich der Dichte oder des Absorptionscoëfficenten möglichst weit auseinanderliegen, rechtfertigt sich wohl von selbst.

Die meisten Versuche wurden mit Geweben angestellt, in welchen als dialytisches Diaphragma blos die Zellmembran

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

in Betracht kam, und so durchgeführt, dass Gas gegen Gas ausgetauscht wurde. Doch kommen auch Versuche vor, in welchen der Durchgang der Gase durch ganze lebende aber vollkommen geschlossene Gewebe geprüft werden konnte; auch wurde zu prüfen versucht, mit welcher Geschwindigkeit der Gasaustausch erfolgt, wenn aus der Zellhaut austretende Gase ins Wasser diffundiren. Auch dem noch keineswegs geklärten Verhältnisse des Durchganges von unter Druck stehenden Gasen durch die luftführenden Intercellularen der Gewebe ist eines der folgenden Capitel gewidmet. Da über die Fähigkeit der Periderme, dampfförmiges und liquides Wasser aufzunehmen, bisher keine zahlenmässigen Belege, überhaupt keine genauen Beobachtungen vorliegen, und wir mit trockenen und imbibirten Korkgeweben operiren mussten, so schien es uns passend, unsere Beobachtungen über Hygroskopicität und Imbibition verschiedener Periderme mitzutheilen.

Endlich wird durch einige Beispiele zu zeigen versucht werden, wie sich die thatsächlich gewonnenen Ergebnisse über den Durchgang, beziehungsweise Nichtdurchgang der Gase durch die Zellmembranen und Gewebe zur Erklärung der Lebensvorgänge heranziehen lassen.

I. Capitel.

Untersuchungen zur Entscheidung der Frage: Unterliegt die vegetabilische Zellhaut der Druckfiltration für Gase?

Unter den zahlreichen zur Beantwortung dieser wichtigen Frage angestellten Untersuchungen können nur diejenigen als vollkommen beweiskräftig angesehen werden, die einer von uns [1] über das Periderm, und zwar über den Kork von *Quercus Suber* (Flaschenkork) und über die Schale der Kartoffel angestellt hat.

Die genannten Gewebe sind von keinerlei Intercellularen durchsetzt; jedes derselben kann als ein so vollkommen geschlossenes Ganze im Experiment verwendet werden, dass ein Schluss aus dem Verhalten des Gewebes auf das Verhalten der Zellhäute ohneweiters gestattet ist.

Diese Versuche haben ergeben, dass sich selbst durch die dünnsten Periderme, welche durch Schnitt herstellbar sind, Luft

[1] WI, S. 371 ff.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

nicht hindurchpressen lässt. Die Resultate dieser Versuche wurden durch spätere Experimentatoren bestätigt[1] und fanden ohne jeden Widerspruch Eingang in die physiologischen Lehr-und Handbücher.[2] Wir werden weiter unten auf Grund erneuter Versuche zeigen, dass die Haut jeder Peridermzelle unfähig ist, Luft durch Pressung durchzulassen, selbst wenn die höchsten Drucke, welche sie, ohne zu reissen, auszuhalten im Stande ist, angewendet werden. Die mit anderen Geweben (besonders mit Parenchym und Holz) angestellten einschlägigen Versuche sind schon insoferne nicht als einwurfsfrei zu betrachten, als zwischen den Zellen derselben sich ein mehr oder minder stark entwickeltes System luftführender Intercellularen befindet. Dieselben liessen sich im Experimente nicht mit genügender Sicherheit ausschliessen, und auch ihr Einfluss auf die Menge des durch das Gewebe gegangenen Gases nicht mit der nöthigen Genauigkeit bemessen. Es konnte aber nicht, wie dies bezüglich des Periderms der Fall war, aus dem Verhalten des Gewebes unmittelbar auf das Verhalten der Zellhaut geschlossen werden. Wären die Resultate negativ ausgefallen, so hätte denselben eine grosse Beweiskraft innegewohnt, da die Versuche aber zu einem positiven Ergebnisse führten, d. h. lehrten, dass die Zellhaut der Druckfiltration unterliege, so war der Einwand berechtigt, dass die durch das Gewebe hindurchgepresste Luft nicht die Zellhaut, sondern die Intercellularen passirt habe.

Wir werden zeigen, dass die herrschende Lehre, derzufolge die meisten Zellmembranen der Gasdruckfiltration unterliegen, unrichtig ist, vielmehr können wir mit aller Bestimmtheit aussagen, dass die Zellhäute aller untersuchten Gewebe — und man darf wohl behaupten, dass Pflanzenzellmembranen überhaupt — sich in dieser Beziehung genau wie die Zellhäute des Periderms verhalten. Dieses Resultat war nur dadurch zu erzielen, dass bloss solche Gewebe dem Experimente unterworfen wurden, deren Elemente vollkommen lückenlos aneinanderstossen. Bei Juglans- und Phytolaccamark sind zwar Intercellularlücken vorhanden, dieselben werden jedoch durch die Collabirung der absterbenden Zellen vollständig verlegt.

[1] Siehe Lietzmann in der weiter unten citirten Abhandlung.

[2] Siehe die Physiologieen von Pfeffer, Detmer etc.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Ehe wir zur Mittheilung unserer Experimente schreiten, erscheint es uns angemessen, vorerst die in der genannten Richtung vor uns unternommenen Untersuchungen vorzuführen und auf ihren wahren Werth zurückzuführen.

Die ersten auf unsere Frage bezugnehmenden Untersuchungen rühren von N. J. C. Müller her.[1] Er prüfte die angeblich riss- und spaltöffnungsfreie Epidermis von *Haemanthus puniceus* auf den Grad ihrer Durchlässigkeit für verschiedene Gase. Die Epidermis grenzte in seinen Experimenten einerseits an ein Vacuum, beziehungsweise an einen luftverdünnten Raum, und anderseits an einen mit dem zum Versuche dienenden Gase erfüllten Raum. Unter diesen Versuchsbedingungen findet nun Müller, dass Gase durch nasse Membranen schwerer als durch trockene hindurchgehen. „Die Membran" — sagt Müller (S. 175) — „ist im getrockneten Zustande vom trockenen Gas am raschesten durchdringbar". Diese Versuche leiden, so sorgfältig sie sonst auch angestellt sein mögen, an der falschen Voraussetzung, dass die benützten Epidermen vollkommen geschlossene und unverletzte Gewebe bildeten. Allerdings enthalten sie (abgesehen von der Mittelrippe) keine Spaltöffnungen, wohl aber waren sie zweifellos von kleinen Rissen durchsetzt; denn an allen von uns geprüften Oberhäuten der genannten Pflanze konnten wir dieselben nachweisen.

Übrigens lehren alle von uns mit vollkommen geschlossenen Epidermen ausgeführten Versuche, dass dieselben der Druckfiltration weder im trockenen noch im mit Wasser imbibirten Zustande unterliegen und die Gasdialyse durch geschlossene feuchte Membranen viel rascher als durch trockene erfolgt.

Einer von uns hat die Meinung ausgesprochen[2], dass die Zellmembranen des Hollundermarkes für unter Druck stehende Luft passirbar seien, und zwar leichter im trockenen als im mit Wasser imbibirten Zustande. Da das Hollundermark reichlich von luftführenden Intercellulargängen durchsetzt ist, so mussten diese entweder durch passende Injection während des Versuches ausser Function gesetzt werden, oder aber es musste der Antheil, welchen

---

[1] Untersuchungen über die Diffusion atmosphärischer Gase in der Pflanze. Pringsheim's Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 7 (1869—1870) S. 145 ff.

[2] WI, 377 ff.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

diese Intercellularen bei dem Durchgange des Gases durch das ganze Gewebe hatten, experimentell bestimmt werden. In beiden Fällen sprach das Versuchsergebniss dafür, dass durch die Parenchym-Zellmembran Luft gepresst werden könne. Auch aus analogen mit Holzgeweben angestellten Versuchen wurden die gleichen Schlüsse gezogen.

Alle diese Versuche litten indess an dem schon früher genügend markirten Übelstande, dass sie nämlich unmittelbar einen genügenden Schluss nicht zuliessen, denn stets lag in den Intercellularen eine Fehlerquelle.

Spätere Versuche, welche mit intercellularenfreien analogen Materialien vorgenommen wurden, liessen in der That die damals gezogenen Schlüsse unrichtig erscheinen, und gerade dieser Umstand gab Veranlassung zur Durchführung der vorliegenden Arbeit.

Die Untersuchungen von Lietzmann[1] leiteten insoferne zu einem mit den eben angeführten gleichen Resultate, als auch er angibt, dass die Korkzellwand der Druckfiltration für Gase nicht unterliege, dass hingegen die Zellhäute anderer Gewebe (Epidermen, Parenchym, Holz) für unter starkem Drucke stehende Gase — er arbeitete mit der Compressionspumpe — passirbar seien. Lietzmann's Resultate weichen indess von den oben mitgetheilten darin wesentlich ab, dass er gerade der mit Wasser imbibirten Zellhaut gegenüber der lufttrockenen eine relativ grössere Durchlässigkeit für unter Druck stehende Luft zuschreibt.

Lietzmann hat bei seinen Versuchen die Betheiligung der luftführenden Intercellularen beim Durchgang der Gase übersehen. Er arbeitete beispielsweise mit Abschnitten halbirter Peperomia-Blätter, welche er im frischen und trockenen Zustande mit Zuhilfenahme einer Compressionspumpe dem Überdrucke der Luft aussetzte. Durch die frischen Blätter konnte die Luft viel leichter als durch die trockenen gepresst werden, weil bei jenen die Intercellularen geöffnet, bei diesen in Folge der beim Eintrocknen stattgehabten Collabirung und Agglutinirung der Zellhäute zum grössten Theile geschlossen waren. Seine Beobach-

[1] Über die Permeabilität vegetabilischer Zellmembranen in Bezug auf atmosphärische Luft. Flora, 1887, Bd. 70, S. 339.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

tungen sind ganz richtig, aber die von ihm versuchte Interpretation der Thatsachen irrig, er hat aus dem Verhalten von mit Intercellularen reich durchsetzten Geweben auf das Verhalten der Zellhaut geschlossen und gelangte so zu einem falschen Resultate. Würde auch nur eine der Oberhäute seiner Peperomia-Blätter ein vollkommen geschlossenes riss- und spaltöffnungsfreies Gewebe gewesen sein, so hätte er so wie wir bei den Druckversuchen ein negatives Resultat erhalten.

In jüngster Zeit hat sich O. Drude[1] bei seinen vielfach höchst lehrreichen Versuchen über die Wirkung der vorhergegangenen Dämpfung des Holzes auf die Geschwindigkeit der Evacuirung und die Quantitäten der Laugenaufnahme im Holze nebenher auch mit unserer Frage beschäftigt. Er zeigte, dass sich durch cylindrische lufttrockene Pfropfen aus Nadelholz von 40*mm* Länge und 16*mm* Durchmesser Luft leichter saugen lässt als durch wasserdurchtränkte Pfropfen derselben Art. Diese Wahrnehmung ist vollständig richtig. Drude findet seine Beobachtung im Einklange mit der herrschenden Lehre, der zufolge die trockene Zellhaut für Gase leichter durchgängig sei als durch imbibirte. Thatsächlich konnte aber aus den Versuchen nur geschlossen werden, dass das Holzgewebe im trockenen Zustande für Gase leichter passirbar sei als im imbibirten. Denn die im gefässfreien Holze auftretenden communicirenden Trachëidenstränge, ferner die niemals ganz fehlenden Intercellularen füllen sich leicht mit Wasser und setzen dann selbstverständlich dem Gasdurchtritt ein grosses Hinderniss entgegen.

Im vorigen Jahre untersuchte Mangin[2] den Gasdurchtritt durch Epidermen, die er durch Maceration von Blättern mittelst des *Bacillus amylobacter* erhalten hat. Es soll sehr leicht sein, durch Einlegen von verschiedenen Blättern in Wasser, welches den erwähnten Bacillus enthält, die Cuticula in einer Ausdehnung von 2—4 cm^2 unversehrt zu erhalten. Bei Wiederholung des Verfahrens erhielten wir stets nur isolirte Oberhäute. Offenbar

---

[1] Studien über die Conservirungsmethode des Holzes. Civilingenieur. Bd. 35. (1889) Erstes Heft.

[2] Recherches sur la pénétration ou la sortie des gaz dans les plantes. Extrait des Annales de la science agronom. franc. etc. T. I, 1888.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

ergaben seine Macerationen dasselbe; was er „Cuticula“ nannte, waren zweifellos Oberhautstücke.

Von der sehr richtigen Ansicht ausgehend, dass Barthélémy[1] bei seinen Versuchen über den Durchgang der Gase durch die Pflanzenorgane mit Begonia-Blättern auf in denselben vorhandene Spaltöffnungen und Risse nicht geachtet habe, überzieht Mangin die von ihm verwendeten Versuchshäute, um sich von einem ähnlichen Fehler unabhängig zu machen, mit 10%iger Glyceringelatine, übersieht aber dabei, dass dieselbe Gase leicht diffundiren lässt, und bei etwas stärkerem Drucke einreisst; durch diesen Überzug können also weder die Spaltöffnungen noch die Risse für Gase undurchlässig gemacht werden.

Derartig präparirte Oberhäute erwiesen sich bei schwachem Überdrucke (8·5—58 *mm*) für Luft, Sauerstoff und Wasserstoff durchlässig, und zwar waren die durch diese Häute gegangenen Gasvolumina den jeweilig angewendeten Drucken proportional. Das von Mangin erzielte Resultat hat nichts Auffallendes, gibt aber keinen Aufschluss über das Verhalten geschlossener Häute gegenüber unter Druck stehenden Gasen, und darauf kam es ja eben an.

Eine sehr übersichtliche Zusammenstellung der betreffenden, bis zum Jahre 1880 erschienen Arbeiten nebst kritischen Bemerkungen findet sich in Pfeffer's Handbuch der Pflanzenphysiologie.[2] Auf Grund dieser Literatur gelangt auch Pfeffer zu der Ansicht, dass bei Überdruck Gase durch die unverletzte Zellhaut hindurchgehen können, und zwar durch trockene Membranen leichter als durch imbibirte. „Beim Durchgang durch eine getrocknete Zellhaut strömen die Gastheile, in analoger Weise wie in einer Graphitplatte, in Gasform durch enge Poren, und wir nennen deshalb diesen Vorgang Filtration, sofern ein Gas in Folge einseitigen Überdrucks durch eine Membran gepresst wird . . .“[3] „Durchgehends scheint uns ein Gas schneller durch

---

[1] De la respiration et de la circulation des gaz dans les végétaux. Annales des sciences naturelles V. Sér. T. 19, p. 131 ff.

[2] Leipzig 1881. Bd. I, S. 86 ff.

[3] l. c. p. 87.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

eine ausgetrocknete als durch eine mit Wasser imbibirte Haut sich zu bewegen . . .“[1]

Der einzige Botaniker, welcher der herrschenden Lehre entgegen die Meinung vertrat, dass die vegetabilische Zellmembran der Gasfiltration nicht unterliege, war Böhm. Zu einer Zeit, in welcher unsere diesbezüglichen Versuche dem Abschluss nahe waren, stellte er gelegentlich seiner Arbeit „über Stärkebildung in den Blättern von *Sedum spectabile Boreau*“[2] in einer Anmerkung die mit unseren Versuchsergebnissen harmonirende Behauptung auf, dass sich durch unverletzte vegetabilische Membranen Gase nicht hindurchpressen lassen, dass vielmehr die Gasbewegung, welche von Zelle zu Zelle statthat, nur nach den Gesetzen der Absorption und Diffusion erfolge. Einen experimentellen Nachweis für seine Behauptung hat aber Böhm nicht erbracht.

A. Versuche mit Peridermen.

Wir knüpfen an jene schon oben berührten Versuche an, welche einer von uns über die Gasfiltration der Periderme anstellte. Da jene Versuche nur mit Flaschenkork und Kartoffelschale ausgeführt wurden, so schien es zweckmässig, noch andere typische Korkgewebe in den Kreis der Untersuchungen zu ziehen, um entscheiden zu können, ob der damals ausgesprochene Satz: die Periderme unterliegen nicht der Gasfiltration, allgemeine Geltung habe.

Die oben genannten Versuche wurden theils mit äusserst dünnen, radial oder quer geschnittenen Korkplatten[3], theils mit dem von der Kartoffel abgezogenen Periderm vorgenommen. Die dünnsten der zu den Experimenten benützten Korkplatten bestanden nur aus zwei bis drei Zellschichten, deren Membranen zusammengenommen bloss eine Dicke von 0·0036 *mm* hatten. Trotzdem erwiesen sie sich bei einem Druckunterschied von 310 *mm* durch fünf Wochen für Luft impermeabel. Die Drucke

---

[1] l. c. S. 87.

[2] Botan. Centralblatt, 1889, Nr. 8, S. 232.

[3] Tangential geschnittene Platten müssen wegen des Verlaufs der Lenticellen vermieden werden (WI, S. 372).

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

wurden mit gleichem Erfolge gesteigert bis auf eine Atmosphäre. Ähnlich so verhielten sich Kartoffelperiderm-Lamellen. Die zu den Experimenten verwendeten bestanden bloss aus 5—6 Zelllagen.

Indem wir andere Periderme zu den Versuchen verwendeten, hielten wir es für zweckmässig, die damals angewendete Methode abzuändern.

Früher wurde eine T-Röhre angewendet, an deren oberem Ende die zu untersuchende Gewebschicht luftdicht angekittet war, und deren horizontaler Seitenarm benützt wurde, um Quecksilber in die vertical aufgestellte Röhre aufzusaugen. Das Aufsaugen geschah mittelst eines an dem Seitenrohre luftdicht angepassten Kautschukschlauches, welcher knapp am Glasrande nach dem Emporsteigen des Quecksilbers durch eine Klemme abgesperrt wurde.

Wir gaben die T-Röhre aus zweierlei Gründen auf. Erstlich, weil das Aufsaugen des Quecksilbers zu bedeutender Höhe nicht leicht durchführbar ist, sodann weil der Verschluss des Seitenarms mittelst Kautschuk wegen der merkwürdigen Absorptionsfähigkeit desselben für Gase kein vollkommen exacter ist.

Wir verwendeten gerade Glasröhren, deren innere Weite stets ziemlich genau 6 *mm* und deren Länge 50—100 *cm* betrug.

Die Peridermplatte wurde an einem Ende luftdicht auf das Glasrohr mittelst feinstem Siegellack gekittet[1]. Es erwies sich als vortheilhaft, den Siegellackverschluss geschmeidig zu erhalten. Wir erreichten dies dadurch, dass die Siegellackmasse mit einem Gemische von einem Gewichttheil Colophonium und zwei Gewichttheilen Wachs (beste Sorte von reinem weissen Bienenwachs) überzogen wurde. Auf diese Weise ist es uns möglich geworden, Verschlüsse herzustellen, die nunmehr schon länger als ein Jahr halten. Nachdem die Röhre an einem Ende mittelst der Gewebsplatte luftdicht verschlossen worden war und Lufttemperatur angenommen hatte, wurde sie nahezu horizontal gelegt, mit dem verschlossenen Ende etwas nach abwärts geneigt, und nun vorsichtig mit Quecksilber gefüllt[2], je nach Bedarf voll-

[1] Über die Befestigungsweise. WI, S. 375.

[2] Wenn sehr zarte Häute oder sehr dünne Platten verwendet werden, empfiehlt es sich, einen durchlöcherten Gypspfropfen oder ein durchlöchertes Hollundermarkstück als Widerlage zu benützen.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

ständig oder nur theilweise. Sodann wurde das offene Ende mit dem Daumen verschlossen, unter Quecksilber getaucht, die Röhre vertical gestellt und fixirt.

Der Siegellack hatte allerdings einen niederen Schmelzpunkt, so dass durch dessen Anwendung die Versuchshäute oder Schnitte nur wenig oder gar nicht alterirt wurden. Indess haben wir in jenen Fällen, in welchen die möglichste Schonung des Versuchsobjectes geboten war, namentlich bei Prüfung lebender Gewebe, eine andere Verschlussmethode in Anwendung gebracht. Auf das Glasrohr wurde nämlich ein zerlegbarer Metallaufsatz festgekittet, in welchen die betreffende Gewebeplatte luftdicht eingepasst werden konnte. Um letztere vor Zerquetschung zu bewahren, lag sie zwischen durchlochten Kautschukscheiben. Die innere Öffnung der Kautschukscheiben stimmte genau mit der inneren Öffnung der Metallstücke, zwischen welchen das Versuchsobject untergebracht war, überein. Die Verschraubung der Theile war eine vollkommen luftdichte. Doch wurde von jedem Versuche die Luftdichtigkeit der Verschlüsse besonders geprüft.

Die Experimente wurden im ungeheizten, nach Norden gelegenen Gaszimmer ausgeführt, dessen Temperatur während der Versuchszeit innerhalb einer Woche höchstens um 1—2° C. variirte. Übrigens nahmen wir stets auf Temperatur und Barometerstand bei jeder Ablesung des Quecksilberstandes Rücksicht. Zwei Stunden nach der Aufstellung wurde der Stand des Quecksilbers in der Röhre markirt, beziehungsweise abgelesen,[1] und bei einigen der Versuche, um den Einfluss der Körperwärme auf den Quecksilberstand zu eliminiren, die Ablesung mittelst des Kathetometers vorgenommen.

In einzelnen besonders bemerkten Fällen wurden die Gewebschichten in eine für diesen Zweck eigens construirten Compressionspumpe eingepasst, und nachdem man sich von der Luftdichtigkeit aller Verschlüsse überzeugt hatte, Drucken von mehr als

[1] Es braucht wohl nicht näher begründet zu werden, warum wir erst nach einiger Zeit die erste Ablesung machten. Auch scheint es nicht nothwendig, darzulegen, dass innerhalb der ersten zwei Stunden ebensowenig Gasfiltration statthatte, als in den darauf gefolgten Stunden, Tagen, Wochen und Monaten.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

einer Atmosphäre ausgesetzt. So hohe Drucke lassen sich nach der von uns gewöhnlich benützten, oben beschriebenen Methode nicht leicht erzielen.

Die zu unseren Versuchen benutzte Druck- oder Compressionspumpe besteht aus einem 12 *cm* hohen und 7 *cm* im Durchmesser haltenden aufrechtstehenden, aus Messing angefertigten, auf einer massiven Holzplatte aufgeschraubten Windkessel; zur Compression der Luft dient ein im entsprechend hohen Stiefel spielender 21 *cm* hoher Kolben. Die zum Einströmen der Luft dienliche Öffnung schliesst sich bei einer bestimmten Stellung des Kolbens im Stiefel. Ein am Ende des Kolbenzuges angebrachtes Ventil hindert den Austritt der Luft während der Hebung des Kolbens, so dass also Luft in den Windkessel ein-, aber aus demselben nicht austreten kann. Der Windkessel ist einerseits mit einem Manometer in Communication, welches den Druck der comprimirten Luft anzeigt, anderseits mit einem Ansatzrohr, welches mittelst Hahn abgesperrt werden kann. Letzteres steht mit einem aus zwei luftdicht verschraubbaren Stücken bestehenden Metallbehälter in Verbindung, der zur Aufnahme der Pflanzengewebe bestimmt ist. Der Innenraum des Behälters ist flach cylindrisch gestaltet und dient zur Aufnahme von zwei durchlochten Kautschukplatten von 1·5 *cm* Durchmesser, zwischen welche das Versuchsobject gelegt wird. Nach der Verschraubung ist der zwischen den Kautschukplatten befindliche flächenförmige Versuchskörper luftdicht eingepasst. Die von Kautschuk unbedeckte Fläche des Versuchsobjects hat einen Durchmesser von 2·5 *mm*. Der Innenraum des Behälters mündet nach unten in den Windkessel, nach oben in ein kurzes Metallrohr, auf welches ein doppelt U-förmig gebogenes Glasrohr aufgesetzt ist, dessen beide Schenkel zur Hälfte je nach Bedarf mit Wasser oder Petroleum gefüllt sind. Der Aufsatz hat den Zweck, den etwa erfolgten Austritt von Luft durch die Versuchshaut messend verfolgen zu können, aber auch die Aufgabe, wenn es nöthig sein sollte, das Versuchsobject vor dem Austrocknen zu bewahren. Mit dieser Compressionspumpe lassen sich die Drucke bequem bis auf sieben Atmosphären steigern.

1. Versuch. Periderm der Birke *(Betula alba)*. Es wurde eine schneeweisse, vollkommen lenticellenfreie Korkhaut

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

verwendet, welche eine Dicke von 0·09 *mm* besass. Quecksilbersäule = 400 *mm*. Der Versuch dauerte 14 Tage. Der Quecksilberstand blieb, auf gleiche Temperatur und Normalbarometerstand reducirt, constant.

2. Versuch. Birkenkorkhaut, 0·2 *mm* dick. Quecksilberstand = 440 *mm*. Versuchsdauer 3 Wochen. Der Quecksilberstand blieb unverändert.

3. Versuch. Birkenperiderm, 0·2 *mm* dick. Quecksilberstand = 610 *mm*. Versuchsdauer 51 Tage. Impermeabel.

4. Versuch. Stammperiderm des Kirschbaumes *(Prunus avium)*, 0·9 *mm* dick, Quecksilberstand = 710 *mm*. Versuchsdauer 48 Tage. Impermeabel.

5. Versuch. Phelloid der Föhre *(Pinus silvestris)*. Die hellbraunen durchscheinenden Häute der Föhrenborke bestehen bekanntlich aus 2—4 Lagen verholzter dickwandiger Phelloidzellen.

Die verwendete Phelloidplatte hatte eine Dicke von 0·06 *mm*. Sie liess bei einem Quecksilberstand von 400 *mm* durch 4 Tage nicht die geringste Spur von Luft durch. Später sank, offenbar in Folge einer Rissbildung, die Quecksilbersäule rasch auf den Stand Null.

Versuche, wie die eben geschilderten, gelingen begreiflicherweise nicht immer, denn, wenn die Gewebeplatte nicht vollkommen luftdicht aufsitzt oder wenn sie den kleinsten Riss besitzt, so sinkt sofort die Quecksilbersäule.

Die Korkhäute vom Stamme der *Spiraea opulifolia* und von *Melaleuca stypheloides* lassen Luft ungemein leicht durch. Allein man kann sich leicht davon überzeugen, dass dieselben theils von spaltenförmigen, ziemlich grossen Intercellularräumen durchsetzt sind, welche hier offenbar die Stelle der Lenticellen vertreten, die an den Stämmen der genannten *Spiraea*, wie wir uns durch zahlreiche Beobachtungen überzeugten, vollständig fehlen, und die wir auch an den wenigen uns zu Gebote gestandenen Stämmen der *Melaleuca stypheloides* vergebens gesucht haben. Die Intercellularen der *Spiraea opulifolia* entstehen durch Auseinanderweichen der Zellen, also schizogen. Die Entstehung der analogen Bildungen bei *Melaleuca st.* konnten wir nicht näher verfolgen, da wir nicht ausreichendes Untersuchungsmaterial hatten.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Es unterliegt wohl keinem Zweifel, dass die Peridermzellhaut der beiden zuletzt genannten Pflanzen sich nicht anders als die der gewöhnlichen Periderme verhält, nämlich mechanisch kein Gas durchpressen lässt; nur lässt sich dies wegen Anwesenheit der Intercellularen nicht direct beweisen.

Ähnlich wie die Periderme von *Spiraea opulifolia* und *Melaleuca st.* verhält sich jenes eigenthümliche hollundermarkähnlich aussehende Gewebe, welches in einer Dicke von nahezu einem Centimeter die stärkeren Stämme von *Calotropis procera* Willd. überdeckt und welches wir als Massenphelloid im Sinne Höhnel's[1] deuten möchten. Dieses merkwürdige Gewebe vertritt offenbar den Kork, ist aber gar nicht verkorkt (wohl aber verholzt); es ist so spröde, dass es sich zwischen den Fingern leicht zu einem feinen Pulver zerreiben lässt. Selbst durch ziemlich (mehrere Millimeter) dicke Platten fliesst schon bei schwachem Überdruck die Luft leicht hindurch, was ganz begreiflich ist, da dieses Gewebe reichlich von axial und radial verlaufenden, luftführenden Intercellularräumen durchsetzt ist.

Vor einigen Jahren hat Klebahn[2] gefunden, dass an den Stämmen mancher Pflanzen stellenweise ein von Intercellularen durchsetztes Periderm auftritt, welches er mit dem Namen Porenkork belegt. Es findet sich in Form localisirt auftretender Platten im Periderm lenticellenfreier Gewächse (*Taxus baccata*, *Tecoma radicans*), an den Stämmen lenticellenfreier Sträucher über den Markstrahlen (bei *Vitis*, *Clematis*, *Philadelphus coronarius*, *Lonicera*-Arten etc.) und selbst in den Lenticellen, hier die sogenannte Verschlusschicht bildend[3]. Dass sich die Porenkorke bei der Gasfiltration so verhalten wie etwa das Periderm von *Spiraea opulifolia*, bedarf wohl keiner näheren Begründung.

6. Versuch. Querschnitte durch gewöhnlichen Kork, welche aus 9—14 übereinanderliegenden Zellschichten bestanden, wurden

---

[1] Über Kork und verkorkte Gewebe. Sitzgsber. der kaiserl. Akademie der Wiss. Bd. 76, (1877) I. Abth. S. 95.

[2] Die Rindenporen, Jena 1884.

[3] Die Anwesenheit des Porenkorkes in den Lenticellen begünstigt deren Durchlässigkeit für Luft. Dass die Lenticellen auch im Winter nicht verschlossen sind, hat einer von uns (WI, Sep. Abh. S. 9) gezeigt, und ist später auch von Klebahn angegeben worden.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

in der Compressionspumpe einem Überdrucke von 4 Atmosphären ausgesetzt. Die Platte wölbte sich in Folge des grossen Druckes stark nach aussen, ohne zu reissen und ohne Luft während der Versuchszeit durchzulassen. Der Versuch dauerte 24 Stunden.

Ähnliche Versuche wurden mit Birkenkork und mit dem Periderm der Kartoffel gemacht. Auch diese Objecte erwiesen sich bei einem Überdrucke von 4 Atmosphären impermeabel.

B. Versuche mit Epidermen und Blättern.

Zur Prüfung der Durchlässigkeit vegetabilischer Zellhäute für Gase hat man mit Vorliebe die oberen Epidermen von Laubblättern genommen. Man benützte grössere und zumeist auch derbere Blätter, von welchen sich die Häute leicht abziehen lassen. Von den Blättern mancher namentlich monokotylen Gewächse können grosse und breite Stücke abgelöst werden, welche zu den Versuchen sehr geeignet erscheinen. Es liesse sich gegen dieses Untersuchungsmateriale auch nichts einwenden, wenn man auch nur immer die Sicherheit hätte, dass diese Häute — und darauf kommt alles an — vollkommen frei von Spaltöffnungen und Rissen sind. Es ist dies aber nicht der Fall und alle Versuche, welche mit solchem Materiale vorgenommen wurden, müssen umsomehr Misstrauen erregen, als dieselben stets einen raschen Durchgang des Gases durch solche Häute ergaben.

Es hat einer von uns gezeigt, wie sich Gase durch die zarten Öffnungen der Epidermen bewegen. Es geschieht dies nämlich durch Effusion[1] und man hat unter Anwendung von Gasen verschiedenen specifischen Gewichtes ein Mittel an der Hand, sich davon zu überzeugen, ob in solchen Häuten kleine Öffnungen vorhanden sind oder nicht.

Wenn nun durch derartige Häute Luft hindurch geht, und dies ist zumeist der Fall, so geschieht dies stets nur durch Effusion, zum Beweise, dass sie kleine Lücken enthalten. Solche Häute können aber zu den Versuchen über Druckfiltration nicht verwendet werden.

---

[1] WI. p. 404.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Aus den angeführten Gründen haben wir uns von diesem Materiale losgesagt und nach verlässlicherem umgesehen. Vor allem fand sich in den Fruchthäuten von Trauben, Kirschen, Pflaumen und anderen Pflanzen ein ausgezeichnetes Versuchsmateriale. Diese Häute lassen sich mit Leichtigkeit in grossen Strecken unverletzt abziehen und etwa daran hängendes Fruchtfleisch mit dem Rücken eines Skalpells unschwer entfernen. Solche Häute bestehen zwar nicht stets allein aus Epidermis, sondern führen gewöhnlich noch 1—10 Lagen von parallel zur Oberfläche abgeplatteten, collenchymatisch aussehenden Zellen. Die Epidermen dieser Fruchthäute sind durchwegs vollkommen frei von Spaltöffnungen.

Die Versuchsanstellung blieb dieselbe, wie in der Reihe A. Die Membranen wurden auf die Glasröhren im trockenen Zustande aufgekittet, oder — was namentlich bei Anwendung lebenden Materiales geschah — luftdicht in die oben beschriebenen Apparate eingeschraubt, beziehungsweise mit Zuhilfenahme der Compressionspumpe geprüft.

Die Zahl der mit verschiedenen Fruchthäuten durchgeführten Versuche beläuft sich auf mehr als 60. Da aber die Experimente im Wesentlichen zu dem gleichen Resultate führten, so mögen hier nur einige wenige besonders hervorgehoben werden.

7. Versuch. Fruchthaut der Traube. Dieselbe bestand aus 10 Zellenschichten und hatte eine durchschnittliche Dicke von 0·12 *mm*. Höhe des Quecksilberstandes 700 *mm*. Trotz des hohen Überdruckes auf der Oberseite, welcher nahezu eine Atmosphäre betrug, zeigte sich während der ganzen Versuchszeit, d. i. während 75 Tagen, diese Haut vollständig impermeabel.

8. Versuch. Fruchthaut der Zwetschke *(Prunus domestica)*. Dicke der aus 7 Zellenlagen bestehenden Schale 0·012 *mm*. Höhe der Quecksilbersäule 709 *mm*. Dauer des Versuches 75 Tage. Die Haut erwies sich als vollständig impermeabel.

9. Versuch. Alles wie im vorigen Versuche, aber Höhe der Quecksilbersäule bloss 370 *mm*. Resultat wie oben.

10. Versuch. Fruchthaut der Kirsche. Höhe der Quecksilbersäule 400 *mm*. Versuchsdauer 60 Tage. Resultat wie oben.

11. Versuch. Fruchthaut des Apfels. Bestand aus 5—8 Zellenlagen und hatte eine durchschnittliche Dicke von 0·06 *mm*.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Quecksilbersäule 580*mm*. Versuchsdauer 52 Tage. Resultat wie oben.

12. Versuch. Fruchthaut der Schneebeere *(Symphoricarpus racemosa)*. Dieselbe besteht bloss aus 1—2 Zellschichten. Höhe der Quecksilbersäule 370*mm*. Versuchsdauer 75 Tage. Auch diese Haut erwies sich trotz ihrer Dünne als vollständig unfähig, Luft durch Pressung durchzulassen.

13. Versuch. Die Fruchthaut der Kirsche wurde im frischen Zustande in die Compressionspumpe luftdicht eingepasst und successive einem Überdruck von 3 Atmosphären ausgesetzt. Da über der eingespannten Haut nur ein kleiner feucht gehaltener Raum sich befand, so darf angenommen werden, dass dieselbe lebend blieb. Zum mindesten trocknete sie während des Versuches, welcher 24 Stunden dauerte, nicht ein. Auch diese Haut erwies sich als für unter Druck stehende Luft vollständig impermeabel. Der grosse Überdruck hatte die Haut stark halbkugelförmig aufgetrieben.

Als ein weiteres gleichfalls ausgezeichnetes Versuchsmateriale bewährten sich die Samenhäute; z. B. von Erbsen und Bohnen *(Phaseolus multiflorus)*. Von diesen lässt sich, wenn man die Samen vorher quellen liess, die Testa leicht ablösen und im frischen und getrockneten Zustande für unsere Zwecke bequem verwenden.

14. Versuch. Samenhaut der Erbse. Trocken aufgekittet. Höhe der Quecksilbersäule 610*mm*. Versuchsdauer 75 Tage. Vollständig impermeabel.

15. Versuch. Wie oben. Quecksilberstand 500*mm*. Versuchsdauer 45 Tage. Resultat wie oben.

16. Versuch. Samenhaut der Bohne. Trocken aufgekittet. Höhe der Quecksilbersäule 700*mm*. Versuchsdauer 75 Tage. Resultat wie oben.

17. Versuch. Samenhaut der Bohne, imbibirt. Ertrug in der Compressionspumpe unbeschadet einen Überdruck von 3·5 Atmosphären.

Es folgen nun einige mit Blättern vorgenommene Versuche.

18. Versuch. Die Blätter von *Mnium punctatum* bieten den Vortheil, dass sie gross genug sind, um zu unseren Versuchen verwendet werden zu können und, abgesehen vom Mittelnerv,

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

nur aus einer einzigen Zellenlage bestehen, in welcher die Elemente ganz lückenlos aneinander schliessen. Die Dicke des Blattes beträgt dort, wo es aus einer Zellenschicht besteht, 0·06 *mm*.

Das Ende der Glasröhre, auf welcher das Blatt befestigt werden sollte, wurde in der Flamme so weit ausgezogen, dass der Querschnitt der verjüngten Röhre etwas kleiner wurde, als die Blattfläche. Diese Öffnung wurde durch das Blatt luftdicht verschlossen, nachdem vorher als Widerlage ein entsprechend grosses Stück Filterpapier angebracht worden war.

In 10 Versuchen erwiesen sich diese Moosblätter bei einem Druckunterschiede von 250 *mm* durch 30 Tage vollkommen impermeabel. In anderen Versuchen sank das Quecksilber relativ rasch, manchmal sofort auf Null; zweifellos hatten sich an diesen zarten Objecten mehr oder minder grosse Risse gebildet.

19. Versuch. Frische Blätter von *Potamogeton crispus* wurden zwischen Filterpapier bei schwachem Drucke getrocknet und stückweise zu unseren Experimenten verwendet. Diese Blattstücke waren durchscheinend und ausserordentlich zart; sie bestehen, abgesehen von den Nerven, nur aus drei Zellschichten und haben blos eine Dicke von 0·06 *mm*. Da die trockenen Blattstücke ungemein spröde sind, so empfahl es sich, dieselben, bevor sie zum Verschluss der Glasröhre verwendet wurden, auf einige Minuten in den feuchten Raum zu bringen. Als Widerlage wurde auch hier Filterpapier mit Vortheil benützt.

In 5 Versuchen hielten sich die Quecksilbersäulen (250 bis 400 *mm*) durch 8 Tage unverändert.

20. Versuch. Von der Undurchlässigkeit der Laubblattepidermiszellen für unter Druck stehende Luft kann man sich leicht und sicher überzeugen, wenn Stücke von solchen Blättern zu den Versuchen genommen werden, deren obere Epidermis vollkommen spaltöffnungsfrei ist, während die untere Epidermis reichlich Spaltöffnungen führt und zudem das ganze Mesophyll von zusammenhängenden Luftgängen durchsetzt ist. Durch die Spaltöffnungen dringt die Luft relativ rasch ein und geht leicht durch alle Intercellularen, so dass also bloss die obere Epidermis dem Luftdurchtritt einen erheblichen Widerstand entgegensetzt und man mit solchem Materiale leicht und sicher entscheiden kann, ob die

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Epidermis der Druckfiltration für Gase unterliegt, woraus sich unmittelbar ein Schluss auf das Verhalten der Zellhaut dieser Epidermiszellen ziehen lässt.

Diese Versuchsanstellung hat gegenüber jener mit abgezogenen Epidermen den dreifachen Vortheil, dass sich mit den Blattstücken leichter als mit den zarten Häuten operiren lässt, dass die Epidermis an den Blattstücken intact bleibt, während beim Abziehen desselben sich leicht Rissbildung einstellt, und dass endlich die zu prüfende Oberhaut der Blattstücke schon ihre natürliche Widerlage besitzt.

21. Versuch. Unter den Blättern, welche den oben angeführten Bedingungen entsprechen, haben wir die des Epheu besonders geeignet gefunden. Wir haben mit lebenden und durch Austrocknen getödteten Blattstücken gearbeitet, in beiden Fällen aber das gleiche Resultat erhalten. Die Höhe der Quecksilbersäule betrug in den einzelnen Versuchen 554—600*mm*. Durch 8—14 Tage hielten sich die Säulen auf gleicher Höhe. Später machte Rissbildung den Versuchen ein Ende.

22. Versuch. Ein Blattstück des Epheu wurde im frischen Zustand mittels der Compressionspumpe einem Drucke von 3 Atmosphären ausgesetzt. Es erwies sich als vollkommen impermeabel. Der Versuch währte 24 Stunden. — Ein eben solches Blattstück stand in der Compressionspumpe unter einem Drucke von 6·75 Atmosphären. Nach etwa 8 Stunden, während welcher Zeit das Versuchsobject dem hohen Drucke vollkommen Widerstand leistete, trat Rissbildung im Blatte ein.

23. Versuch. Die vollkommen spaltöffnungsfreien Blumenkronblätter von *Philadelphus coronarius* erwiesen sich, einem Überdrucke von 3 Atmosphären in der Compressionspumpe ausgesetzt, während 24 Stunden vollkommen impermeabel.

Hingegen hielten die Blumenblätter des Mohns *(Papaver Rhoeas)* in der Compressionspumpe die angewendeten Drucke nicht aus. Eine Erklärung dieses Verhaltens ergab der anatomische Befund: diese Kronenblätter führen beiderseits Spaltöffnungen.

24. Versuch. Ein frisches Blattstück von *Stratiotes aloides* kam in die Compressionspumpe, woselbst es einem Drucke von 3 Atmosphären ausgesetzt war. Nach 24 Stunden waren durch das Blattstück 156mm^3 Luft entwichen, nach weiteren 24 Stunden

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

62 mm^3. Das Blatt ist frei von Spaltöffnungen; es haben sich in demselben während des Versuches auch keinerlei Risse gebildet, da der Gasaustritt nicht nach dem Effusionsgesetze statthatte. Auch wäre bei eingetretener Rissbildung wahrscheinlich schon sehr rasch, gewiss aber am zweiten Tage, an welchem das Blatt schon dem Eintrocknen nahe war, ein vollkommener Druckausgleich eingetreten. — Der Austritt des Gases durch das Blatt von *Stratiotes* erklärt sich durch Diffusion und wird durch die im zweiten Capitel enthaltenen Thatsachen verständlich. Es befördert nämlich der grosse Wassergehalt der Zellhäute die Dialyse derart, dass schon der Druckunterschied zwischen äusserer und innerer Luft trotz ihrer gleichen chemischen Beschaffenheit zum Gasaustausch führte, der aber nicht mechanisch, d. i. durch Pressung, sondern durch Diffusion und Absorption erfolgte.

C. Versuche mit Algen.

Die Alge *Ulva latissima* besitzt bekanntlich einen grossen flächenförmigen, dabei aber ausserordentlich dünnen Thallus (Dicke = 0·014—0·018 *mm*), der nur aus einer einzigen Zellschichte besteht, innerhalb welcher die Elemente völlig lückenlos aneinander schliessen. Dieses Versuchsmateriale ist mithin zu unseren Versuchen besonders geeignet.

25. Versuch. Es wurde genau so wie bei *Mnium* vorgegangen und zwei Versuche ausgeführt, von denen der eine 8, der zweite 10 Tage währte. Im ersten stand das Quecksilber 250, im letzten 200 *mm* hoch. Resultate wie in den früheren Versuchen.

26. Versuch. Ein frisches Thallusstück der *Ulva latissima* stand in der Compressionspumpe durch 24 Stunden, innerhalb welcher Zeit, infolge der Versuchsanstellung, dasselbe keine merklichen Wasserverluste erlitten hatte und wohl auch als lebend betrachtet werden konnte. Der angewendete Druck betrug 3 Atmosphären, welcher grosse Druck wohl zu einer starken Dehnung des Thallusstückes führte und dasselbe beinahe blasenförmig ausdehnte, es aber im Übrigen intact liess. Innerhalb der Versuchszeit war die Gasabgabe durch Diffusion eine kaum merkliche.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

27. Versuch. Membranstücke aus den blattartigen Theilen der *Caulerpa prolifera*, welche eine Dicke von etwa 0·06*mm* aufwiesen, wurden im trockenen Zustande zum Verschlusse der Röhre verwendet, in der das Quecksilber 600*mm* hoch stand. Während der Versuchszeit (15 Tage) blieb die Haut für die Luft undurchdringlich.

In einem anderen Versuche, welcher 21 Tage währte, und in dem die Quecksilbersäule eine Höhe von 504*mm* hatte, änderte sich der Quecksilberstand gleichfalls nicht.

D. Versuche mit dickwandigen Endospermgeweben.

28. Versuch. Das Endosperm von *Phytelephas macracarpa* (vegetabilisches Elfenbein des Handels) wurde mittelst der Beinsäge in dünne Platten geschnitten und diese soweit geschliffen, dass die zum Verschluss der Glasröhren dienlichen Gewebeplatten bloss eine Dicke von circa 0·2*mm* hatten. Bei einem Quecksilberstande von 500*mm* ging während der Versuchszeit (60 Tage) keine Spur von Luft durch das Gewebe.

In einem nächsten Versuche, bei welchem das Quecksilber 604*mm* hoch stand, hielt der Verschluss durch 14 Tage, während welcher Zeit gleichfalls keine Spur von Luft in die Röhre eindrang.

29. Versuch. Endosperm von *Sagus amicarum*. Dicke der durch Schliff erhaltenen Platte 0·15*mm*. Höhe des Quecksilbers 580*mm*. Versuchsdauer 31 Tage. Impermeabel.

30. Versuch. Dünne nur aus 2—3 Zelllagen bestehende Schnitte aus dem dickwandigen Endosperm von *Strychnos nux vomica*. Höhe der Quecksilbersäule 250*mm*. Der Verschluss hielt durch 45 Tage, während welcher Zeit keine Spur von Luft in die Glasröhre eindrang.

Gerade an diesem Objecte, an welchem bekanntlich Tangl die Communication der Protoplasmen benachbarter Zellen entdeckte, und an dem die von Protoplasmen erfüllten, die Zellhaut durchbohrenden Canäle am deutlichsten wahrzunehmen sind, wäre noch am ehesten der Durchgang der unter Druck stehenden Luft zu erwarten gewesen. Doch ist auch hier keine Druckfiltration des Gases nachweisbar, zum Beweise, dass ebenso-

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

wenig als die Wandsubstanz das die Canäle dicht erfüllende Protoplasma der Druckfiltration unterliegt.

E. Versuche mit Mark.

Den Beweis zu erbringen, dass die Zellwände von Markzellen, überhaupt von parenchymatischen Elementen Luft nicht durchfiltriren lassen, ist nicht leicht, da die Marke und Parenchyme fast immer mehr oder minder reichlich von luftführenden Intercellularen durchsetzt sind. Das Mark des Hollunders, des Sonnenblumenstengels, des Stammes der *Aralia papyrifera* sind aus oben angegebenen Gründen zur Durchführung unserer Versuche ganz ungeeignet. Auch zahlreiche andere Marke, überhaupt Parenchyme, erwiesen sich für unseren Zweck unbrauchbar. Erst nach langem Suchen fanden wir Parenchyme, welche, als vollkommen geschlossene Gewebe, mit Vortheil zu unseren Experimenten herangezogen werden konnten.

Das Mark des Nussbaumes besteht in den gestreckten, ausgewachsenen Internodien aus quer zur Achse des Stammes verlaufenden, durch breite Lufträume geschiedenen papierdünnen Häuten. Jede dieser Häute oder Diaphragmen [1] setzt sich aus zahlreichen collabirten, meist etwas luftführenden Zellen zusammen, die dichtgefügt neben und übereinander liegen und eine Lamelle von etwa 0·04 *mm* bilden. Jedes solche Diaphragma stellt eine durchscheinende Haut dar, welche, im Durchschnitte gesehen, unter dem Mikroskop den Eindruck macht, als ob eine kurze Scheibe des Markes zusammengepresst worden wäre; so dicht liegen die Zellwände in der zur Diaphragmafläche senkrechten Richtung aneinander.

Auch die in der Markhöhle des Stammes von *Phytolacca decandra* ausgespannten Markplatten bieten ein gleiches Bild dar.

Mit Chlorzinkjodlösung werden die Zellenhäute beider Arten von Diaphragmen tief violett gefärbt.

31. Versuch. Eine Markplatte von *Juglans regia* wurde zum Verschluss der Glasröhre verwendet. Das Quecksilber stand

---

[1] Über die Entstehung derselben vergl. G. Kassner: „Über das Mark einiger Holzpflanzen". Breslau 1884. S. 11 ff.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

380 *mm* hoch. Nach 24 Stunden riss die Platte; bis dahin blieb aber der Quecksilberstand unverändert.

Es wurden im Ganzen mit dem Juglans-Mark acht Versuche gemacht, welche ergaben, dass dasselbe der Druckfiltration für Gase nicht unterliegt. Die höchsten Drucke, welche sich anwenden liessen, entsprachen einer Quecksilbersäule von 400 *mm*. Über diese hinaus rissen die Gewebeplatten ein.

32. Versuch. Markplatten von *Phytolacca decandra*. Dicke derselben 0·04 *mm*. Höhe der Quecksilbersäule 690 *mm*. Diese Platte erhielt sich, ohne zu reissen durch 45 Tage. Bis dahin änderte sich der Quecksilberstand nicht.

33. Versuch. Parenchymplatten aus dem Blattstiel der *Musa Ensete*. Auch diese erwiesen sich vollständig undurchlässig für unter Druck stehende Gase. —

Aus allen diesen Versuchen geht hervor, dass sich die Zellhäute der Gewebe sowohl im trockenen, wie im imbibirten, im lebenden und im todten Zustande, sowie Peridermzellhäute verhalten. Es darf somit der Satz ausgesprochen werden, dass Luft auf dem Wege der Druckfiltration durch die vegetabilische Zellhaut überhaupt nicht hindurchgeht.

Ob dieser Satz nicht durch spätere Untersuchungen eine Einschränkung erfahren wird, lässt sich natürlich nicht voraussehen. Es ist dies aber im höchsten Grade unwahrscheinlich, da so viele Arten der verschiedensten Gewebe in den verschiedensten Stadien sich vollkommen gleich verhielten und da ja auch Membranen von fast unmessbar geringer Dicke und auch recht derbhäutige Membranen, ferner Zellhäute von höchst verschiedenem chemischen und physikalischen Verhalten in die Versuche einbezogen wurden.

Eine Einwendung, welche gegen die Richtigkeit unserer Schlussfolge vorgebracht werden könnte, sei vorsichtshalber von vorneherein entkräftigt. Man wird wohl ohne weiters einräumen, dass die mit luftführendem Gewebe ausgeführten Versuche einen Schluss auf das Verhalten der Zellhäute gestatten. Hingegen scheint eine solche Schlussfolge nicht berechtigt, wenn aus lebenden mit Protoplasma und Zellsaft erfüllten Zellen bestehende (dichtgeschlossene) Gewebe zum Versuche verwendet werden.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Da aber die Zellhäute solcher Gewebe ein communicirendes Gerüste bilden, so müssten letztere für unter Druck stehende Luft durchgängig sein, falls die Eigenschaften der Membranen dies erlaubten; da nun solche Gewebe der Druckfiltration nicht unterliegen, so sind auch diese Versuche beweiskräftig. Dass auch durch das Protoplasma und durch den in den Zellen eingeschlossenen Zellsaft Luft nicht hindurchgepresst werden kann, geht einerseits aus dem 30. Versuche hervor, andererseits aus der Natur der Flüssigkeiten.

Es sei nur noch bemerkt, dass in einzelnen Fällen unter den Bedingungen der Druckfiltration ein Durchgang der Gase durch die Membran stattfinden kann (siehe den 24. Versuch), der aber, wie das folgende Capitel lehren wird, auf Diffusion zurückzuführen ist. Membranen, welche für Gase dialytisch leicht durchdringlich sind, also namentlich sehr wasserhaltige Zellhäute, lassen Gase unter den angegebenen Bedingungen diffundiren. Aber auch trockene Periderme gestatten unter grossem Drucke stehenden Gasen nach monatelanger Einwirkung in merklichem Grade dialytischen Durchtritt.

Am deutlichsten haben wir diese Erscheinung beim Birkenkork wahrgenommen, welcher in dünner Platte bei einem Überdruck von etwa 1 Atmosphäre schon nach 2 Monaten sehr deutlich Luft diffundiren liess, während unter gleichen Verhältnissen aufgestellte gewöhnliche Korkhäute noch keine Änderung im Stande der eingeschlossenen Luft wahrnehmen liessen.

Zweites Capitel.

Versuche über Absorption und Diffusion von Gasen durch lufttrockene und imbibirte Membranen.

Wenn sich auch durch die vegetabilischen Zellhäute Luft nicht hindurchpressen lässt, wie etwa durch einen porösen Körper, z. B. durch eine Gyps- oder Graphitplatte, so folgt daraus selbstverständlich noch nicht, dass diese Membranen für Gase überhaupt impermeabel seien. Die tägliche Erfahrung des Physiologen lehrt ja das Gegentheil; jede lebende Zelle nimmt Sauerstoff auf und gibt Kohlensäure ab, die behäutete Zelle eben sowohl wie die

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

hautlose und der so leicht zu verfolgende Gaswechsel der Keimlinge macht es anschaulich, dass alle in diese Pflänzchen ein- und austretenden Gase die Membran der dieselben zusammensetzenden Zellen passiren müssen. Da, wie wir gesehen haben, durch Druck an sich die Gase von Zelle zu Zelle nicht und ebenso wenig von der Atmosphäre in die Zelle und umgekehrt befördert werden können, so folgt eigentlich schon von selbst, dass der Gasaustritt durch die Membran nur auf dem Wege der Gasdialyse erfolgen könne. Nur auf diesem Wege kann, wie einer von uns schon vor Langem angab, die Luft ins Innere der Peridermzelle gelangen, denn diese Zellen sind ja anfänglich mit Flüssigkeiten gefüllt und in keinem Entwicklungsstadium der Druckfiltration für Gase unterworfen.

Unsere Versuche über die Gasdialyse der vegetabilischen Membran wurden in gleich einfacher Weise wie die meisten der obigen auf Druckfiltration bezughabenden ausgeführt. Glasrohre von der angegebenen Weite wurden luftdicht (durch Verschraubung oder Ankittung) mit der zu prüfenden dichtgefügten, d. h. intercellularenfreien Gewebeschichte verschlossen, die Röhre vorsichtig mit Quecksilber gefüllt und dieses durch jenes Gas ersetzt, welches der jeweilige Versuch erforderte. Aus dem Steigen des Quecksilbers wurde auf die Diffusionsgeschwindigkeit geschlossen. Da die Versuche vergleichend durchgeführt wurden, so war dieser Schluss gerechtfertigt.

Ehe wir zur genaueren Schilderung unserer Versuche und zur Darlegung unserer Ergebnisse im Einzelnen übergehen, sollen einige Bemerkungen und Beobachtungen über die Fähigkeit des Korkgewebes, Gase dialytisch passiren zu lassen und zu absorbiren, Platz finden. Denn auch in Bezug auf die Frage der Diffusion der Gase durch vegetabilische Zellhäute bietet das Korkgewebe einen lehrreichen Ausgangspunkt dar.

Dass die Peridermzellhaut (des Korkes) wenigstens in einem bestimmten Entwicklungsstadium für Luft auf dem Wege der Dialyse durchlässig ist, wurde schon oben dargelegt. Ob sie es aber in allen Stadien, welche sie durchzumachen hat, und auch im vollkommen ausgebildeten und lufttrockenen Zustande ist, geht aus der oben mitgetheilten Beobachtung nicht hervor. Denn dass die flüssigen Inhaltsstoffe der Peridermzelle durch Luft er-

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

setzt werden, lässt auch die Deutung zu, dass ihre Zellhaut nur im imbibirten Zustande Luft diffundiren lässt.

Es wird heute wohl allgemein angenommen, dass der Kork für Gase undurchlässig ist, dass man beispielsweise durch einen fehlerfreien Kork ein in einem Glasgefäss befindliches Gas unverändert absperren könne. Strenge genommen ist diese Annahme aber unrichtig, da Gase durch verkorkte Zellhäute ebenso wie durch unverkorkte hindurchgehen. Unsere Versuche werden dies in einfacher und sehr anschaulicher Weise darlegen.

Es geht die Fähigkeit des Korkes, Gase diffundiren zu lassen, auch schon aus Beobachtungen hervor, welche Böhm[1] angestellt hat, die aber bisher leider völlig unbeachtet geblieben sind. Böhm fand, dass Flaschenkork und Holz beträchtliche Mengen an Kohlensäure, Sauerstoff und Wasserstoff absorbiren, diese Gase an die Lumina der betreffenden Zellen durch Diffusion abgeben, woselbst sie verdichtet werden. Dass die Absorption dieser Gase nicht etwa durch die Oberfläche der Gewebe erfolgt, sondern in der ganzen festen Substanz derselben stattfindet, das absorbirte Gas aber successive an die Lumina der Zellen abgegeben und innerhalb derselben verdichtet wird, bewies Böhm durch vergleichende Versuche mit ganzen und gefeilten Korken; erstere absorbirten die Gase stets in weitaus grösseren Mengen als letztere. Wäre aber die Absorption bloss eine Erscheinung der Flächenattraction, so müsste ja gerade der gefeilte Kork grössere Gasmengen absorbiren.

Wir haben Böhm's mit Flaschenkork angestellte Versuche wiederholt und können dieselben nur vollauf bestätigen. Wir haben dieselben auch auf das Periderm der Birke ausgedehnt, welches sich im Wesentlichen so verhält, wie Flaschenkork, aber, wie unsere unten folgenden Versuche lehren werden, Kohlensäure noch rascher als dieser diffundiren lässt, wesshalb die Wiedergabe unserer Beobachtungen passend erscheint.

34. Versuch. An einem U-Rohr wurde der kürzere, breitere Schenkel durch eine lenticellenfreie, überhaupt völlig dicht gefügte Birkenperidermplatte von 0·09*mm* Dicke luftdicht verschlossen. Das Rohr war zum Theile mit Stickstoff, zum Theile

[1] Botan-Zeitung, 1883. S. 521 ff.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

mit Quecksilber derart gefüllt, dass letzteres in beiden Schenkeln gleich hoch stand. Die breite Öffnung mass 9, der Durchmesser des schmalen Rohres betrug 4·5 *mm*. Der zwischen Periderm und Quecksilber befindliche cylindrische Raum hatte eine Höhe von 60 *mm*. Der Apparat wurde unter eine mit Kohlensäure gefüllte, mit Quecksilber abgesperrte Glasglocke gestellt. Das Steigen des Quecksilbers in Folge des Eindringens der absorbirten Kohlensäure in das U-Rohr ist aus nachstehender Tabelle zu ersehen.

	Differenz im Stande des Quecksilberniveaus
Nach 2 Tagen	0·5 *mm*
„ 3 „	2·5 „
„ 5 „	3·5 „
„ 7 „	7·0 „
„ 9 „	8·0 „
„ 20 „	14·0 „
„ 24 „	17·0 „
„ 33 „	21·5 „
„ 43 „	27·0 „
„ 53 „	27·0 „

Unsere Versuche über die Diffusion der Gase durch Zellenmembranen wurden, wie schon bemerkt, mit geraden, oberseits durch die zu prüfende Gewebeplatte verschlossenen, mit dem zu prüfenden Gase gefüllten, über Quecksilber vertical aufgestellten Glasröhren ausgeführt.

Die innere Weite des Glasrohres betrug 6 *mm*, die Höhe zumeist 450 *mm*. Nach Verschluss des Glasrohres wurde dasselbe vorsichtig mit Quecksilber vollständig gefüllt und der so vorbereitete Apparat erst dann zum Versuche verwendet, nachdem man sich überzeugt hatte, dass der Verschluss vollkommen und die Gewebeplatte vollständig frei von Rissen und überhaupt Öffnungen war. Sodann wurde trockene Kohlensäure oder trockenes Wasserstoffgas eingeleitet. Wenn nichts besonders bemerkt ist, stand das Quecksilber 10 *mm* über dem äusseren Quecksilberniveau. In den folgenden Stunden, Tagen oder Wochen stieg das Quecksilber langsam aber deutlich, entsprechend der Diffusibilität der Gase in die Höhe. Die in der Folge angegebene

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Steighöhe des Quecksilbers ist stets auf gleiche Temperatur und gleichen Barometerstand reducirt.

35. Versuch. Zum Verschluss der Röhre diente eine 0·5 *mm* dicke Korkplatte. Füllung der Röhre mit Wasserstoff.

Nach 2 Tagen war das Quecksilber um 1 *mm* gestiegen
„ 9 „ „ „ „ „ 3 „ „
„ 13 „ „ „ „ „ 5 „ „
„ 22 „ „ „ „ „ 12·5 „ „
„ 30 „ „ „ „ „ 18·8 „ „

36. Versuch. Alles wie im früheren Versuche, nur wurde die Korkplatte mit Wasser imbibirt erhalten [1], und zwar mittelst eines Filterpapierstreifens, der in ein mit Wasser gefülltes Gefäss tauchte.

Nach 6 Tagen war das Quecksilber um 12 *mm* gestiegen
„ 9 „ „ „ „ „ 14 „ „
„ 11 „ „ „ „ „ 19 „ „
„ 13 „ „ „ „ „ 27 „ „
„ 22 „ „ „ „ „ 57 „ „
„ 30 „ „ „ „ „ 85 „ „

Aus diesen beiden Versuchen ist zu entnehmen, dass durch die imbibirte Korkzellwand die Kohlensäure auffallend rascher als durch die lufttrockene diffundirt.

37. Versuch. Es wurden zwei Glasröhren mit weissem Birkenperiderm verschlossen, welches eine Dicke von 0·09 *mm* hatte. Trockener Wasserstoff wurde in beiden Röhren so weit eingeleitet, dass das Quecksilber in jeder der Röhren innen genau um 150 *mm* höher stand als aussen. Eines der Verschlussperiderme wurde trocken, das andere mit Wasser imbibirt erhalten, und zwar hier und in den folgenden Versuchen genau in der früher angegebenen Weise.

Innerhalb eines Monates hob sich das Quecksilber in der mit dem trockenen Periderm verschlossenen Röhre um 48, in der mit dem feucht erhaltenen Periderm um 73 *mm*.

---

[1] Über den Grad der Imbibitionsfähigkeit der Periderme folgt weiter unten eine Reihe von Daten.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

38. Versuch. Analoger Versuch mit trockenem und imbibirtem Kartoffelperiderm mittlerer Dicke. Innerhalb 30 Tage stieg das Quecksilber in der mit der lufttrockenen Haut verschlossenen Röhre um 5, in der mit der imbibirt erhaltenen um 40 *mm*.

39. Versuch. Ein analoger Versuch wurde mit einem und demselben Stück Kartoffelperiderm ausgeführt, um den individuellen Charakter des verwendeten Gewebes im Versuche auszuschliessen. Die Temperaturschwankungen betrugen während des Versuches nur wenige Grade. So lange die Platte trocken gehalten wurde, stieg das Quecksilber nur wenig, nämlich in 29 Tagen bloss um 4·5*mm*, während es nach Einleitung der Imbibirung schon nach 3 Tagen um 5, nach 19 Tagen um 43*mm* gestiegen war.

40. Versuch. Birkenperiderm. Füllung der Röhre mit trockener Kohlensäure. So lange die Haut trocken blieb, stieg das Quecksilber in 37 Tagen um 12·5*mm*. Nach der Imbibirung (desselben Peridermstückes) erhob es sich in 19 Tagen um 62*mm*. —

Während alle von uns untersuchten Periderme relativ grosse Mengen von Gasen im trockenen Zustande diffundiren liessen, zeigten alle übrigen von uns untersuchten Gewebe ein anderes Verhalten; sie liessen entweder im trockenen Zustande auf dem Wege der Dialyse gar kein Gas oder nur sehr minimale Quantitäten durch, was sich erst nach längeren Zeiträumen constatiren liess. Hingegen war im imbibirten Zustande die Diffusion der Gase bei den Zellhäuten dieser Gewebe eine sehr beträchtliche.

Die Versuche, von welchen hier die Rede ist, wurden angestellt mit den Fruchthäuten der Traube, der Pflaume und Kirsche, mit den Blättern von *Potamogeton crispus*, *Hedera Helix* und *Mnium punctatum*, mit dem Mark von *Juglans regia* und *Phytolacca*, mit der Samenhaut der Erbse, endlich mit dem Lager von *Ulva latissima*.

Aus unseren zahlreichen Aufzeichnungen theilen wir bloss einige wenige, auf besonders charakteristische Verhältnisse bezugnehmende mit, und fügen im übrigen nur bei, dass die Resultate durchaus gleichsinnig, dem Grade nach aber je nach der Qualität der Zellhaut verschieden ausfielen.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

41. Versuch. Trockene Traubenhaut. Füllung: Kohlensäure. Innerhalb eines Monates änderte sich der Quecksilberstand nicht. Nach erfolgter Imbibition stieg die Quecksilbersäule

nach	1	Tag	um	15	*mm*
„	2	Tagen	„	26	„
„	6	„	„	180	„
„	9	„	„	145	„
„	21	„	„	180	„

um hierauf langsam zu fallen.

42. Versuch. Unter allen von uns geprüften Parenchym-Membranen erwies sich im Gange der Dialyse keine so permeabel, als die schon oben (S. 691) erwähnten Markplatten von *Juglans regia*. Während eine solche Haut im lufttrockenen Zustande nur Spuren von Kohlensäure gegen Luft austauscht, unterbleibt die Diffusion der Kohlensäure vollständig, wenn über der Markplatte ein Chlorcalciumrohr aufgesetzt wird, der Wassergehalt der Verschlussplatte also unter jenen Werth gesunken ist, welcher der Lufttrockenheit entspricht. Innerhalb eines Zeitraumes von 21 Tagen trat keine Spur von Kohlensäure aus der trocken gehaltenen Membran heraus. Hierauf wurde die Imbibition eingeleitet und schon nach 7 Stunden war das Quecksilber um 33*mm*, nach 24 Stunden um 86*mm* gestiegen.

43. Versuch. Ein frisches Thallusstück von *Ulva latissima* wurde durch Verschraubung zum Verschluss einer mit Kohlensäure gefüllten Glasröhre verwendet und für das Frischbleiben des Algenstückes während des Versuches möglichst Sorge getragen. Nach 8 Stunden war das Quecksilber schon um 60, nach 24 Stunden sogar schon um 143*mm* gestiegen. Es ist dies die grösste Diffusionsgeschwindigkeit, die wir bei Anwendung vegetabilischer Diaphragmen überhaupt beobachtet haben. Da *Ulva* bei grossen, durch die Compressionspumpe gegebenen Drucken fast keine Luft diffundiren lässt (vergl. den 26. Versuch), hingegen unter gleichen Verhältnissen ein *Stratiotes*-Blatt beträchtliche Quantitäten von Luft dialytisch durchlässt (vergl. den 24. Versuch), so ist anzunehmen, dass dieses die

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Kohlensäure auf dialytischem Wege noch rascher als das Lager der *Ulva* passiren lassen wird. Leider ist kein einziger mit diesem Materiale angestellter Versuch gelungen, da das Blatt jedesmal bei der Verschraubung durch Quetschung Schaden litt.

44. Versuch. Trockene Blätter von *Potamogeton crispus* sind für Kohlensäure impermeabel, lassen hingegen im imbibirten Zustande dieses Gas sehr leicht diffundiren, wie folgende Beobachtung lehrt. Eine Röhre wurde mit einem Fragment eines *Potamogeton*-Blattes verschlossen und in der üblichen Art mit trockener Kohlensäure gefüllt. Innerhalb 24 Stunden änderte sich das Gasvolum nicht. Es wurden sodann die Membranen imbibirt, worauf das Quecksilber nach 24 Stunden um 25, nach 48 Stunden um 40 *mm* stieg.

Aus allen unseren, auf Membrandiffusion der Gase Bezug nehmenden Versuchen ergibt sich, dass die Zellhäute der Pflanzen im lufttrockenen Zustande die Gasdialyse entweder so gut wie gar nicht zulassen, oder nur im geringen Grade (Periderme), dass hingegen die imbibirten Zellhäute reichlicher die Gase hindurchtreten lassen.

Die Qualität der Membranen spielt bei der Gasdialyse sichtlich eine grosse Rolle. Es geht aus unseren Versuchen hervor, dass die verkorkte Zellwand gegenüber der unverkorkten und unverholzten ein ganz exceptionelles Verhalten darbietet: sie ist nämlich auch im trockenen Zustande für Gase (CO_2, H, O, N) durchlässig, während die übrigen der genannten Membranen erst im imbibirten Zustande für Gase dialytisch werden.

Zu unserem Bedauern ist es uns trotz vieler Versuche nicht gelungen, verholzte Gewebe ausfindig zu machen, deren Elemente lückenlos aneinanderschliessen, die also zu unseren Versuchen geeignet gewesen wären.[1] Dass die verholzte Zellmembran sich

[1] Durch dünne Quer-, radiale und tangentiale Längsplatten der Holzarten (Tanne, Fichte, Föhre, Birke, Robinie etc.) lässt sich Luft leicht hindurchpressen und diffundiren Gase sehr rasch; allein, wie man sich schon durch die mikroskopische Untersuchung überzeugen kann, sind es Intercellularen und verletzte Tüpfel, Rissbildungen, in den Querplatten zudem noch die Gefässe, welche den Durchtritt der Gase ermöglichen. Imbibirt

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

insofern wie alle übrigen von uns untersuchten Zellhäute verhält, als sie Gase diffundiren lässt, geht aus den Versuchen von Böhm[1] hervor, welcher zeigt, dass in das trockene Splintholz von Fichten- und Robinienholz Gase (CO_2, H, O) eindringen und in den Zellhöhlen verdichtet werden.

Die verholzte Zellwand zeigt also ein ähnliches Verhalten wie die verkorkte, sie lässt Gase im Wege der Diffusion auch im trockenen Zustande passiren.

Man hat die nicht verkorkte Zellwand bezüglich ihres Verhaltens häufig mit einer porösen Gypsplatte verglichen. Dieser Vergleich ist vollkommen unstatthaft, indem die vegetabilische Zellhaut überhaupt, die verkorkte sowohl als die unverkorkte, im trockenen Zustande der Druckfiltration gar nicht unterliegt und weil, wie wir gesehen haben, gerade die imbibirte Zellhaut Gase leichter diffundiren lässt als die trockene, während eine Gypsplatte sich umgekehrt verhält.

Zutreffender ist der Vergleich der vegetabilischen Zellhaut mit einer Kautschukplatte, sofern sie nämlich gleich dieser Gase absorbirt und Kohlensäure und Wasserstoff leichter als Sauerstoff und Stickstoff diffundiren lässt. Auch besteht zwischen beiden die Übereinstimmung, dass sich Luft durch dieselben nicht hindurchpressen lässt. Da der Kautschuk mit Wasser nicht imbibirbar ist, so kann die Parallele zwischen diesem und der vegetabilischen Zellhaut keine vollständige sein und darf nur auf trockene Zellhäute angewendet werden; doch auch hier verliert in einzelnen Fällen der Vergleich seine Brauchbarkeit, indem die nicht verkorkten und nicht verholzten Zellenhäute im trockenen Zustande Gase so gut wie nicht diffundiren lassen.

Am ehesten liesse sich die vegetabilische Zellhaut in Bezug auf ihre Durchlässigkeit für Gase noch mit einer Leim- oder Gelatinhaut vergleichen: diese unterliegt, gleich der Pflanzenzellhaut, weder im trockenen noch im imbibirten Zustande der Druckfiltration, lässt im trockenen Zustande Gase nicht diffundiren, im

---

man die Platten mit Wasser, so wird der Gasdurchtritt vermindert oder gehemmt in Folge Injection der capillaren Räume. Bezüglich der Durchlässigkeit der Zellmembranen für Gase lässt sich selbstverständlich aus diesen Versuchen nichts ableiten.

[1] l. c. p. 546 ff.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

imbibirten Zustande hingegen desto reichlicher, je mehr sie Wasser enthält, auch gestattet sie der Kohlensäure rascher den Durchtritt, als dem Sauerstoff und Stickstoff. Doch auch dieser Vergleich lässt im Stich, wenn es sich um eine verkorkte oder verholzte Zellmembran handelt.

Vom physikalischen Standpunkte lässt sich über den Durchgang der Gase durch die vegetabilische Zellhaut bereits Folgendes aussagen:

In der trockenen Zellhaut liegen die festen Massentheilchen zweifellos zu nahe beieinander, als dass der Durchgang der Gasmoleküle durch dieselbe direct möglich wäre.

Durch die trockene Korkzellhaut gehen aber auf dem Wege der Diffusion trotzdem die Moleküle der Gase (Kohlensäure, Wasserstoff, Sauerstoff etc.) durch. Dies ist nur möglich, wenn das Gas beim Durchgang durch die Membran eine Veränderung erleidet. Welche Veränderungen das von der Membran absorbirte Gas während des Durchganges erfährt, ist unbekannt; es ist nicht nothwendig, mit Graham anzunehmen, dass das diffundirende Gas innerhalb der Membran zu einer Flüssigkeit verdichtet werde, denn man kennt bereits andere physikalische und chemische Veränderungen der Gase, welche deren Durchtritt durch Membranen möglich machen.[1]

Die nicht verkorkte und nicht verholzte Zellhaut, z. B. die Membran des *Juglans*-Markes scheint die Fähigkeit, im trockenen Zustande Gas zu absorbiren und durch Diffusion abzugeben, nicht zu besitzen, denn innerhalb einer ziemlich langen Versuchszeit wurde von der durch ein solches Gewebe abgeschlossenen Kohlensäure nichts an die Luft abgegeben.

Aber auch diese wie überhaupt alle vegetabilischen in dieser Richtung untersuchten Membranen lassen Gas diffundiren, wenn

---

[1] Herr Hofrath Stefan hat folgende von ihm aufgefundene hierhergehörige Thatsache einem der Verfasser mitgetheilt. Durch eine wässerige Lösung von einfach kohlensaurem Natron lässt sich selbstverständlich Luft nicht durch Druck filtriren. Kohlensäure diffundirt aber durch dieselbe, indem sie sich an das einfache Carbonat bindet, die relativ lose Verbindung zu doppeltkohlensaurem Natron eingeht, welches an der Oberfläche der Flüssigkeit unter Abgabe der Kohlensäure sich wieder in einfach kohlensaures Natron verwandelt.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

sie mit Wasser imbibirt werden, und in jenen Fällen, in welchen auch die trockene Haut Gas dialytisch durchlässt, geht dasselbe nach erfolgter Imbibition stets, wie wir gesehen haben, relativ sehr rasch durch. Die Ermöglichung, beziehungsweise Begünstigung der Gasdialyse in Folge Anwesenheit des Wassers ist folgendermassen zu erklären. Indem die Zellhaut in Folge Wasseraufnahme quillt, entfernen sich offenbar ihre festen Massentheilchen immer mehr und mehr von einander und nehmen Wasser zwischen sich auf. Dieses ist es nun, welches das Gas relativ reichlich und nach Massgabe der Beschaffenheit des letzteren mehr oder minder reichlich absorbirt und diffundiren lässt.

Der Durchtritt von Gasen durch die vegetabilische Zellhaut darf wohl als ein auf Absorption und Diffusion beruhender Vorgang aufgefasst und mit jenem verglichen werden, den Franz Exner für den Gasdurchtritt bei Anwendung von Flüssigkeitslamellen festgestellt hat. F. Exner zeigte[1], dass die Geschwindigkeit der Diffusion zwischen zwei durch eine Seifenlamelle getrennte Gase sowohl von ihrer Dichte als von dem Absorptionscoëfficienten für die betreffende Flüssigkeit abhängt, entsprechend der Formel $\frac{C}{\sqrt{d}}$, wobei C den Absorptionscoëfficienten und d die Dichte des Gases bezeichnet. Es ist also die Diffusionsgeschwindigkeit dem Absorptionscoëfficenten direct, der Wurzel aus der Dichte hingegen umgekehrt proportionirt.

Unsere Versuche haben die Abhängigkeit der Diffusionsgeschwindigkeit von der Dichte und vom Absorptionscoëfficienten ergeben. Doch konnten dieselben bisher nicht mit jener Genauigkeit durchgeführt werden, welche erforderlich wäre, um zu entscheiden, ob die Diffusionsgeschwindigkeit der Gase bei Anwendung vegetabilischer Membranen strenge nach dem von F. Exner aufgefundenen Gesetz erfolgt. Wir behalten uns vor, genauere Versuche über die Geschwindigkeit der Diffusion von Gasen bei Anwendung vegetabilischer Membranen anzustellen, welche auch auf Dämpfe ausgedehnt werden sollen, bezüglich welcher F. Exner gezeigt hat, dass sie sich bei der Diffusion

[1] Über den Durchgang der Gase durch Flüssigkeitslamellen. Sitzungsber. d. kais. Akad. d. Wiss. Bd. 70, II. Abth. (1875) S. 465 und Bd. 75, II. Abth. (1877) S. 263.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

genau so wie Gase verhalten und bemerken nur vorläufig, dass nach unseren Beobachtungen in jenen Fällen, in welchen die Diffusion erst nach der Imbibition der Zellhaut mit Wasser eintritt, die Geschwindigkeit der Gasdiffusion dem Werthe $\frac{C}{\sqrt{d}}$ zu entsprechen scheint, wobei C den Absorptionscoëfficienten des Gases für Wasser bedeutet.

Die von uns festgestellten Thatsachen über den Durchtritt, beziehungsweise Nichtdurchtritt der Gase durch die vegetabilischen Zellhäute werden vielfach zur Erklärung von Lebenserscheinungen der Pflanze verwendet werden können und in einem folgenden Abschnitte sollen einige wichtigere physiologische Verhältnisse auf Grund unserer experimentellen Ergebnisse erläutert werden.

An dieser Stelle wollen wir ausdrücklich bemerken, dass mit den von uns erhobenen Thatsachen über die Fähigkeit der vegetabilischen Zellhäute, Gase durchtreten zu lassen, die Grundlagen zur Lehre von der Gasbewegung in der Pflanze noch nicht vollständig gelegt sind, so dass manche einschlägige Erscheinung derzeit noch keine befriedigende Erklärung finden kann.

Die Werthe, welche wir für die Diffusionsgeschwindigkeit der Kohlensäure und besonders des Sauerstoffes gefunden haben, sind wohl zu klein, um uns etwa die rasche Kohlensäureabgabe der in lebhafter Gährung befindlichen Hefe oder die bei der Keimung stattfindende rasche Aufnahme des Sauerstoffes zu erklären.

Wohl haben wir in einigen Fällen (Versuch 43) beträchtliche Diffusionsgeschwindigkeiten beobachtet, und da wir aus genügend dargelegten Gründen in der Wahl unseres Versuchsmateriales sehr beschränkt waren, so wird wohl zugegeben werden, dass manche Zellhäute grössere Diffusionsgeschwindigkeiten zulassen, als wir thatsächlich beobachten konnten. Es ist nicht unwahrscheinlich, dass bei Eintritt grosser osmotischer Drucke in den Zellen gasgesättigte Flüssigkeitsmassen an die freie Oberfläche der Zellmembranen gerathen und dort rasch ihr Gas an die Luft oder überhaupt an das Medium, an welche diese Zellen grenzen, abgeben.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Die rasche Absorption des Sauerstoffes durch Keimtheile lässt sich wohl durch das Verhalten der Zellhaut bei der Diffusion allein nicht erklären. Hier fällt auch der starke Consum des Sauerstoffes innerhalb der Zellen in's Gewicht und ausserdem noch Eigenthümlichkeiten des Protoplasmas, die uns derzeit noch unbekannt sind. Da beispielsweise bei der Keimung stärkereicher Samen die Volumina des aufgenommenen Sauerstoffes und der abgegebenen Kohlensäure sich gleichen, während deren Diffusionsgeschwindigkeiten bei Vorhandensein einer und derselben Membran total verschieden sind, so ersieht man, dass die factischen Geschwindigkeiten, mit welchen die genannten Gase sich innerhalb der lebenden Gewebe bewegen, noch von anderen Momenten beherrscht werden als denen, welche bei der Diffusion allein massgebend sind.

Wir führen hier noch einige Versuche an, welche den Zweck verfolgten, zu prüfen, wie sich Gase verhalten, wenn sie, durch die Membran diffundirend, nicht in die Luft, sondern in's Wasser eintreten.

45. Versuch. Ein an seinem oberen Ende nach abwärts gebogenes Glasrohr, dessen verticaler Schenkel 310, dessen geneigter Schenkel 40 *mm* mass, wurde am oberen Ende mit einer Fruchthaut der Kirsche luftdicht verschlossen und in früher angegebener Weise mit Kohlensäure gefüllt. Die imbibirte Haut tauchte durch 24 Stunden in ausgekochtes destillirtes Wasser, in den nächsten 24 Stunden ragte sie in eine Eprouvette, deren Innenraum mit Wasserdampf gesättigt erhalten wurde. Schliesslich wurde das verschlossene Ende der Röhre wieder unter Wasser getaucht und 24 Stunden stehen gelassen. Temperatur und Barometerstand blieben während des ganzen Versuches nahezu constant, das Quecksilber stieg in den angegebenen Zeiträumen:

bei Diffusion der CO_2 in's Wasser . . . um 37 *mm*
„ „ „ „ in feuchte Luft . . „ 65 „
„ „ „ „ in's Wasser . . . „ 28 „

Wie aus diesen und mehreren anderen ähnlichen von uns angestellten Versuchen hervorgeht, diffundirt die Kohlensäure bei Anwendung vegetabilischer Membranen rascher in die atmosphärische Luft als in's Wasser.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Vergleichende Versuche, welche wir mit frischer Hefe anstellten, ergaben zweifellos, dass von in feuchter Luft befindlicher Hefe mehr Kohlensäure als von einer in Wasser suspendirten abgegeben wird. Die im Wasser liegende Hefe gibt an reines Wasser keinen Zucker ab, so dass die langsamere Kohlensäureabgabe durch die im Wasser liegende Hefe nicht etwa dadurch hervorgerufen werden konnte, dass diese zuckerärmer wird. Ob die verschiedenen Geschwindigkeiten der von feuchter und in Wasser suspendirten Hefe abgegebenen Kohlensäure nur auf dem Umstande beruht, dass die Kohlensäure rascher in die Luft als in's Wasser diffundirt, soll einstweilen noch nicht behauptet werden. Einer von uns ist mit Gährungsstudien beschäftigt, welche über diesen Gegenstand vielleicht mehr Licht verbreiten werden. —

Es mögen hier einige Beobachtungen über die Fähigkeit der Periderme, Wasser aufzunehmen, platzfinden. Dieselben reihen sich unmittelbar an einige der vorher mitgetheilten Versuche an, in welchen Periderme, die zum Verschlusse von Glasröhren dienten, sowohl im trockenen als im imbibirten Zustande auf ihre Durchlässigkeit für Gase geprüft wurden.

Da über die Imbibitionsfähigkeit und Hygroscopicität der Periderme keine besonderen Versuche vorliegen, so dürften die nachfolgenden Daten willkommen sein, und vielleicht umsomehr, als sie das Gegentheil von dem bekräftigen, was bezüglich des Verhaltens des Periderms zum Wasser bisher angenommen wurde.

Die Versuche wurden mit gewöhnlichem Kork, ferner mit den Peridermen der Birke und der *Spiraea opulifolia* ausgeführt. Es wurde Hygroscopicität und Aufnahme von liquidem Wasser bestimmt; im letzteren Falle kamen nur solche Peridermstücke zur Verwendung, welche keine Lenticellen enthielten.

Behufs Ermittlung der Hygroscopicität wurden die Objecte in Form von hautartig dünnen Platten in den dunstgesättigten Raum gebracht und die Temperatursverhältnisse in bekannter Weise so geregelt, dass kein Condensationswasser gebildet werden konnte. Das Maximum der Sättigung wird bei gewöhnlicher Temperatur schon innerhalb einiger Tage erreicht; man darf diesen Zeitpunkt nicht übersehen, da häufig Schimmelbildung sich einstellt und die gewonnenen Zahlen werthlos sind.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Zur Bestimmung der Imbibitionsgrösse wurden die Periderme in dünnen Stücken so lange im Wasser belassen, bis nach kräftiger Abpressung zwischen Filterpapier keine weitere Gewichtszunahme mehr zu bemerken war.

Aus den nachstehend mitgetheilten Daten ergibt sich, dass die Zellwand der Periderme im verschiedenen Grade hygroscopisch und in verschiedenem Grade mit Wasser imbibirbar ist, fernern dass sie, je nach der specifischen Natur der Gewebe verschiedene, in einzelnen Fällen sogar grosse Quantitäten von dampfförmigem und flüssigem Wasser aufzunehmen befähigt ist.

	Wassergehalt im lufttrockenen Zustande	Aufnahme von Wasserdampf im dunstgesättigten Raume bei mittlerer Temperatur	Maximale Aufnahme von liquidem Wasser nach 72 Stunden bei mittlerer Temperatur
Birkenkork . . .	5·09%	7·22%	13·8%
Gewöhnlicher Kork	4·99%[1]	8·61%	29·5%
Periderm von *Spiraea opulifolia*	10·5%	36·31%	105·05—140%

Drittes Capitel.

Über den Durchgang der Gase durch capillare Intercellularen der Pflanzengewebe.

Sowohl über den Durchgang der Gase durch Spaltöffnungen als durch die Intercellulargänge der Gewebe wurden von einem von uns Untersuchungen veröffentlicht.

Die übereinstimmenden Ergebnisse der experimentellen Untersuchung bezüglich des Durchtrittes der Gase durch Spaltöffnungen liessen nach den genannten Untersuchungen[2] wohl keinen Zweifel darüber, dass dieser Vorgang dem Gesetze der Effusion entspricht, die Geschwindigkeiten der durch Spaltöffnungen austretenden Gase mithin der Quadratwurzel ihrer Dichte umgekehrt proportionirt sind. Es wurde dies auch durch

---

[1] Dass die Menge des Wassers im lufttrockenen Kork 4—5% beträgt, hat einer von uns schon früher ermittelt. Siehe: Wiesner, Die Rohstoffe des Pflanzenreiches, Leipzig, 1873, S. 479.

[2] WI, S. 404.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

spätere Versuche bekräftigt, weshalb keine Veranlassung vorlag, das Wesen dieses Vorganges neuerlich zu prüfen.

Hingegen schien eine Ergänzung der auf den Durchgang der Gase durch Intercellularen bezugnehmenden Untersuchungen um so nothwendiger, als die damals geäusserte Ansicht, derzufolge die Luft durch Membranen zu filtriren vermöge, auf Grund unserer oben mitgetheilten Experimente aufgegeben werden musste, denn es steht nunmehr fest, dass bei der Druckfiltration durch Gewebe, welche von lufterfüllten Intercellularen durchzogen sind, die Luft sich ausschliesslich in letzteren bewegt.

Unsere erneuten Versuche wurden ausschliesslich mit Hollundermark gemacht. Obwohl in mancherlei Art abgeändert, führten sie zunächst doch zu einer Bestätigung folgender damals (WI, S. 377) aufgestellter Sätze:

1. Es geht die Druckfiltration durch kleinzelliges Hollundermark langsamer als durch grosszelliges vor sich.

2. In querer Richtung erfolgt die Druckfiltration rascher als in axialer Richtung.

3. Die Filtrationsgeschwindigkeit ist in hohem Grade vom Wassergehalte des Hollundermarkes abhängig.

4. Das Durchfliessen der Luft durch die capillaren Intercellularen entspricht nicht der Poiseuille'schen Formel, erfolgt also nicht nach dem Gesetze der Gastranspiration. Die damals gegebene Erklärung dieser Sätze muss aber in einzelnen Punkten abgeändert werden.

Da die Luft bei Druckfiltration nur durch die Intercellularen geht, so erklären schon die anatomischen Verhältnisse die in den Sätzen 1 und 2 angegebenen Verhältnisse.

Die Herabminderung der Filtrationsgeschwindigkeit in Folge von Wasserzufuhr erklärt sich durch die partielle Verstopfung der Capillaren durch Wasser, und wenn diese im Experiment vermieden ist, ausschliesslich durch die Verengerung der Capillaren in Folge der Quellung der Zellmembranen.

Eine Dickenzunahme der quellenden Zellwände und eine Verengerung der von solchen Zellwänden begrenzten Capillaren lässt sich unter Mikroskop nicht nachweisen, und dieser Umstand veranlasste damals die Annahme, dass auch durch die Zellhaut Luft

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

filtriren könne. Da nach Poiseuille's Untersuchungen die Geschwindigkeit der durch eine Capillare strömenden Flüssigkeiten der vierten Potenz des Durchmessers der Capillare direct proportionirt ist und nach O. E. Meyer[1] die Poiseuille'sche Formel auch für Gase Geltung hat, so wird es begreiflich, dass eine beträchtliche Geschwindigkeitsänderung eines „transpirirenden" Gases eintreten kann, ohne dass man mit den zu Gebote stehenden Mitteln im Stande ist, eine Änderung des Durchmessers der Capillare zu constatiren.

Dass eine Beziehung der Dichte des Gases zur Geschwindigkeit des Durchtrittes durch die Capillaren nicht existirt, wurde von uns auf das Bestimmteste erwiesen, wie folgende Daten lehren:

46. Versuch. Ein lufttrockener, möglichst gleichmässiger Hollundermarkcylinder von 29 *mm* Länge und 8·5 *mm* Durchmesser wurde auf eine Glasröhre aufgesetzt, luftdicht mit Siegellack festgekittet und auch an den Seiten durch Siegellack luftdicht verschlossen, so dass die Luft nur durch die beiden Querschnittsflächen des Markcylinders frei passiren konnte. 5 *cm* vom oberen Ende der 25 *cm* langen und 4 *mm* breiten Glasröhre ging ein kurzer Querarm ab, an dem ein mit Quetschhahn versehener Kautschukschlauch angepasst war, der die Aufsaugung von Quecksilber gestattete. Wurde Quecksilber aufgesaugt und der Hahn geschlossen, so stand die obere Markfläche unter dem herrschenden Drucke der äusseren Luft, die untere hingegen unter einem durch die Höhe der Quecksilbersilbersäule bestimmten Minderdruck. Auf dem Hollundermarkstücke befand sich, luftdicht angepasst, ein T-Stück aus Glas, dessen Seitenarme mit je zwei Chlorcalciumröhren verbunden waren und den Eintritt trockener Gase in das Hollundermark gestatteten. Es wurde zunächst so lange Gas durch den ganzen Apparat hindurchgeleitet, bis man annehmen konnte, dass dasselbe ganz mit dem betreffenden Gase erfüllt war. Nun erst wurde das Quecksilber aufgesaugt, der Hahn geschlossen und mittelst einer Secundenuhr die Zeit bestimmt, welche nöthig war, damit die Quecksilbersäule von 160 *mm* auf 135 *mm* sank. Es wurden folgende Zeitwerthe (z) gefunden:

---

[1] Pogg. Annalen, Bd. 148 (1873) S. 1 ff.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

	z	
I. Atmosphärische Luft. Dichte = 1	52	Secunden
1. Wiederholung	52	„
2. „	52	„
3. „	52	„
4. „	52	„
II. Trockene Kohlensäure. Dichte = 1·545	48	„
1. Wiederholung	48	„
2. „	48	„
3, „	48	„
III. Trockenes Leuchtgas. Dichte = 0·45	32	„
1. Wiederholung	32·5	„
2. „	32	„
3. „	32	„

Es geht aus diesen Versuchen mit Evidenz hervor, dass eine Beziehung der Dichte des Gases zu der Geschwindigkeit, mit welcher dasselbe durch die Intercellularen strömt, nicht besteht.

Der Durchtritt der Gase durch die luftführenden Intercellularen erfolgt mithin weder nach dem Effusionsgesetz, noch in jener Weise, welche die Physiker als Transpiration bezeichnen.

Offenbar sind die in den Pflanzengeweben beim Gasdurchtritt durch die Intercellularen stattfindenden Verhältnisse viel complicirter als jene, welche bisher von den Physikern untersucht wurden. Und wenn auch, wie bei der Gastranspiration, hier das Gas durch Capillaren hindurchströmt, so werden durch Form, Richtung und Enge derselben, vielleicht auch durch Adhäsionsverhältnisse der vegetabilischen Zellhaut bei der Gasbewegung Verhältnisse geschaffen, welche sich derzeit noch der experimentellen Prüfung, überhaupt der wissenschaftlichen Beurtheilung entziehen.

Viertes Capitel.

Physiologische Folgerungen.

Die mitgetheilten Thatsachen über das Verhalten der Membranen zu Gasen werden sich zweifellos zur Erklärung von Lebenserscheinungen der Pflanzen vielfach heranziehen lassen. Es sollen hier bloss einige derartige physiologische Nutzanwendungen Platz finden, gewissermassen nur als Beispiele für die praktische Verwendbarkeit unserer Auffindungen.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Die Function der Gefässe lässt sich nunmehr wohl besser als vorher verstehen. Indem ein wasserführendes Gefäss unter günstigen Transpirationsverhältnissen sein Wasser abgibt, vermag der äussere Luftdruck nicht auch nur eine Spur der atmosphärischen Gase in dasselbe hineinzupressen, und da die beiden Hauptbestandtheile der Luft: Sauerstoff und Stickstoff selbst durch wasserreiche Zellhäute nur sehr langsam diffundiren, so muss im Inneren des wasserarm- oder wasserleergewordenen Gefässes ein luftverdünnter Raum entstehen. Da aber zarte Tüpfelzellhäute selbst bei sehr geringem Überdrucke Wasser leicht filtriren lassen, so wird die Druckdifferenz zwischen äusserer und Gefässluft ausreichen, um, namentlich unter günstigen Transpirationsbedingungen, Wasser aus den umliegenden Geweben in das Gefäss gelangen zu lassen, oder jenes Wasser zu übernehmen, welches durch osmotischen Druck emporgeleitet wird.

Die gewöhnlichen Laubblätter sind von einem reich entwickelten communicirenden Netze von capillaren Lufträumen durchzogen, welche in die Spaltöffnungen münden und so mit der Atmosphäre in Communication stehen. Die grosse Oberfläche dieser intercellularen Gasräume muss begreiflicherweise den Gaswechsel enorm steigern, und denselben destomehr begünstigen, je mehr die den Gaswechsel vermittelnden Zellhäute mit Wasser imbibirt sind. Dieser Umstand wird wohl sehr dazu beitragen, uns verständlich zu machen, warum Stoffwechsel und Ernährung bei Pflanzen feuchter Standorte im Allgemeinen mehr gefördert sind als bei Gewächsen, welche an trockenen Orten sich befinden.

Die grösste Begünstigung erfährt die Diffusion der Gase in den Geweben der submersen Gewächse, weil hier nicht nur der Wassergehalt der Zellhäute ein grosser ist, sondern, von den durch den Grad der Entwicklung abhängigen Änderungen abgesehen, stets auf gleicher Höhe erhalten wird. Da diesen Gewächsen die Spaltöffnungen fehlen, so können sie nur durch die äussere Oberfläche Gase aufnehmen und abgeben. Dieser Nachtheil wird aber durch die eben angeführte Herabsetzung des Widerstands, den die Membranen dem Durchtritt der Gase bei der Dialyse entgegensetzen, wenigstens zum Theile wieder aufgehoben.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Die Erhaltung des Lebens ruhender Pflanzentheile wird durch das Verhalten der trockenen Zellhäute den Gasen gegenüber offenbar in hohem Grade begünstigt. Sporen und Samen vieler Gewächse, manche Moose und andere Gewächse erhalten sich im trockenen Zustande durch Jahre lebend[1] und entwickeln sich von dem Augenblicke an weiter, in welchem ihnen — sonst günstige Vegetationsbedingungen vorausgesetzt — Wasser zugeführt wird. Wohl muss dem Protoplasma dieser Pflanzen oder Organen eine besondere Resistenzfähigkeit zugeschrieben werden, allein einen grossen Schutz erfährt ihr latentes Leben durch den Umstand, dass durch die trockenen Zellhäute der Sauerstoff der Luft nicht oder wohl erst nach langen Zeiträumen in Spuren eindringt. Mit der Wasserimbibition der Zellhäute solcher latent lebender Organe oder Pflanzen sind die Bahnen für die Gase und andere Nährstoffe geöffnet und nun kann die Lebensthätigkeit wieder beginnen.

Zusammenfassung der wichtigeren Ergebnisse.

1. Die vegetabilische Zellhaut lässt unter Druck stehende Gase nicht filtriren, weder im lebenden noch im todten, weder im trockenen noch im mit Wasser imbibirten Zustande.

2. Auch das Protoplasma und der wässerige Zellinhalt sind der Druckfiltration für Gase nicht unterworfen, so dass durch geschlossene, d. i. aus lückenlos aneinanderstossenden Zellen bestehende Gewebe Luft nicht hindurchfiltrirt.

3. Von Zelle zu Zelle erfolgt die Gasbewegung in der Pflanze nur auf dem Wege der Diffusion; in den Geweben, welche von Intercellularen durchsetzt sind, ausserdem noch durch die letzteren.

4. Jede Zellhaut lässt ein bestimmtes Gas desto rascher diffundiren, je reichlicher sie mit Wasser imbibirt ist. Die grössten Diffusionsgeschwindigkeiten ergeben sich bei Anwendung von Membranen der Algen und überhaupt der submersen Gewächse als dialytische Diaphragmen.

5. Die unverholzte und unverkorkte Zellhaut lässt Gase im trockenen Zustande nicht in nachweislicher Menge diffundiren.

---

[1] Genauere Nachweise über Vitalitätserscheinungen im Pflanzenreiche finden sich in: Wiesner, Biologie der Pflanzen. Wien 1889, S. 122 ff.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Hingegen ist die verkorkte und die verholzte Zellhaut befähigt, auch im lufttrockenen Zustande Gase auf dialytischem Wege durchzulassen.

6. Durch vegetabilische Membranen diffundirt Kohlensäure rascher als Wasserstoff, dieser rascher als Sauerstoff.

7. Die Diffusionsgeschwindigkeit der Gase bei Anwendung der vegetabilischen Zellmembranen ist von dem Absorptionscoëfficienten und der Dichte des Gases abhängig.

8. Kohlensäure diffundirt aus Pflanzenzellen rascher in die Luft als in's Wasser. Ein gleiches gilt zweifellos auch für alle anderen Gase.

9. Die Periderme sind hygroscopischer und imbibitionsfähiger als bisher angenommen wurde.

Sie nehmen 7·2 (Birke) bis 36·3% (*Spiraea opulifolia*) gasförmiges und 13·8 (Birke) bis 140% (*Spiraea opulifolia*) Imbibitionswasser auf.

Gewöhnlicher (lenticellenfreier) Kork nimmt bis 8·61% hygroscopisches und bis 29·5% liquides Wasser durch Imbibition auf.[1]

---

[1] Nachträgliche Anmerkung. Nachdem unsere Abhandlung dem Drucke übergeben worden war, lernten wir die Arbeit von H. Devaux kennen, welche unter dem Titel: „Du mécanisme des échanges gazeux chez les plantes aquatiques submergées“ in den Ann. des sc. nat., VII. Sér., T. IX, 1.—3. Heft, 1889 erschien. Der Autor fand, dass die Zellmembranen untergetauchter Wasserpflanzen bei der Diffusion sich wie Wasserlamellen verhalten.